

DIMENSIONAMENTO DE LAGOAS AERADAS SEGUIDAS DE LAGOAS DE SEDIMENTAÇÃO

Patrícia Nasraui

Engenheira Química, mestre em Engenharia Hidráulica pela POLI-USP. Atua na SABESP desde 1996 na área de tratamento de esgotos, na Diretoria Metropolitana, onde foi Gerente de Divisão de 2004 a 2006, em 2007 trabalhou na área de Planejamento Integrado Técnico, em 2008, gerente de Setor Técnico na Diretoria de Sistemas Regionais, onde atualmente é engenheira no Departamento de Controle Sanitário e Ambiental.

Endereço: Av. do Estado, 561, Unidade III, Ponte Pequena, São Paulo – SP – CEP: 01107-900 – Brasil – Tel: +55 (11) 3388-6837 – Fax: +55 (11) 3388-7308 – e-mail: pnasraui@sabesp.com.br.

RESUMO

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB realizado em 2008, temos no Brasil 93 lagoas aeradas, sendo que 37 delas localizam-se no Estado de São Paulo.

No geral, elas apresentam eficiência muito boa em remoção de matéria orgânica, atendendo ao que preconiza a legislação, mas não atendem aos parâmetros normalmente apresentados nos projetos, cuja remoção de sólidos apresentada está em torno de 80%.

Avaliando-se a qualidade do efluente de lagoas aeradas seguidas de lagoas de sedimentação (ou decantação) observa-se efluente com sólidos, em alguns casos com cor marrom terra, com partículas muito pequenas, que não apresentam condições físicas adequadas de sedimentação. Um dos fatores que interferem nesse processo é a aeração promovida nas lagoas aeradas, cujo oxigênio dissolvido e mistura devem ser suficientes para o metabolismo biológico satisfatório e a formação de flocos. Este fator acrescido da operação do sistema como limpeza da lagoa de decantação, ajuste de profundidade interferem na eficiência do sistema no que diz respeito à concentração de sólidos suspensos no efluente final.

Este trabalho visa apresentar resultados da avaliação operacional de lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de sedimentação de tal modo que os projetos e a operação promovam melhores resultados na qualidade do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: lagoas aeradas, lagoas de decantação, operação de lagoas aeradas.

INTRODUÇÃO

O sistema de lagoas aeradas é uma das formas de tratamento de esgotos que requer menor área do que as lagoas de estabilização sem aeração (facultativa e anaeróbia), e que apresenta maior simplicidade na operação do que lodos ativados e suas variantes. Mesmo assim, não é um processo barato, pois consome energia elétrica, demanda de controle operacional, e gera mais lodo do que as lagoas de estabilização. É viável para comunidades pequenas, em locais de terreno de baixo custo.

Os indicadores brasileiros de saneamento mostram um país com baixos índices de coleta e falta de planejamento na preservação de mananciais. Tanto a Agência Nacional de Águas, quanto a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo estão se empenhando para melhorar esses índices no país e no Estado através de recursos financeiros, cujos valores são definidos com base na população atendida e em metas pré-estabelecidas de vazão tratada, carga, eficiência em remoção de matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio), sólidos suspensos e coliformes fecais apresentados em projetos. Desses indicadores, sólidos suspensos totais (SS ou SST) e coliformes fecais (no efluente) não são limitados nas legislações federal (res. CONAMA) e estadual (D.E. 8468/76).

Em decorrência da avaliação do alcance de metas, observou-se que as eficiências em remoção de sólidos suspensos apresentadas em projetos e adotados para a obtenção de recursos financeiros nem sempre são alcançadas na prática.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os principais pontos a serem considerados na operação de lagoas aeradas aeróbias para uma performance adequada e os parâmetros de projeto a serem revistos no dimensionamento deste tipo de tratamento.

Os projetos de lagoas aeradas são elaborados considerando parâmetros propostos em literatura, e estabelecem as dimensões da lagoa e a potência dos aeradores com base na vazão e a carga orgânica afluyente (população a ser atendida).

As lagoas aeradas aeróbias apresentam eficiência teórica de 50 a 60% em remoção de DBO, baixíssima remoção de sólidos, e as lagoas aeradas facultativas apresentam eficiência entre 70 e 90% em remoção de DBO.

Contudo, observa-se que as lagoas aeradas, normalmente conjugadas com lagoas de sedimentação, apesar de apresentarem uma eficiência teórica de 80 a 90% em remoção de DBO, e quase sempre chegam a esse patamar na prática, não apresentam alta eficiência na remoção de sólidos suspensos, normalmente definidas nos projetos em 80%. Alguns fatores devem ser considerados na operação deste sistema, principalmente a vazão e a carga afluentes ao sistema, o oxigênio dissolvido na lagoa aerada, a mistura promovida pelos aeradores, o tempo de detenção e dimensões de ambas as lagoas.

MATERIAIS E MÉTODOS

De modo geral, os sistemas de lagoas aeradas são compostos por gradeamento manual ou mecanizado, calha Parshall com medidor de vazão, desarenadores manuais ou mecanizados e posteriormente as lagoas aeradas e de decantação, sendo utilizados para secagem do lodo leitos de secagem ou lagoas de lodo. Quando o sistema trata vazões superiores a 100L/s os sistemas de gradeamento e desarenação passam a ser mecanizados.

Foram avaliadas 19 lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação quanto à eficiência em remoção de DBO e 2 delas foram avaliadas quanto à remoção de SST.

De acordo com a Norma Técnica Sabesp 230/09, todas as grades e peneiras devem ser mecanizadas, exceto o gradeamento com abertura superior a 25 mm, independentemente da população atendida. No caso de haver apenas uma peneira, deverá ter um canal paralelo com grade manual prevendo-se manutenção. Para a NBR 12.209/11, a limpeza será mecanizada para vazões superiores a 100L/s.

Vale a pena apresentar alguns conceitos que foram utilizados neste trabalho.

1. Diferenças entre as lagoas aeradas aeróbias e as aeradas facultativas

• Lagoa aerada aeróbia

A lagoa aerada é do tipo aeróbia quando o sistema opera em regime de mistura completa (teoricamente), com aeração intensa, tal que forma que haja turbulência suficiente para manter a biomassa em suspensão e distribuir o oxigênio dissolvido (OD) por toda a massa líquida, garantindo um processo totalmente aeróbio.

A profundidade usual nestas lagoas é de 2,5 a 5,0m. Comparativamente às lagoas aeróbias facultativas, apresentam como vantagem a maior eficiência, ausência de crescimento de algas, menor demanda por área. E como desvantagem apresenta maior consumo de energia elétrica. Deve ser sempre seguida de sedimentação (ou filtração) para a remoção de sólidos suspensos do efluente.

• Lagoa aerada facultativa

Quando há baixa turbulência, suficiente para promover a difusão do OD na massa líquida, mas insuficiente para manter os sólidos em suspensão, parte da biomassa sedimenta sofrendo degradação anaeróbia no fundo da lagoa, enquanto a biomassa suspensa na parte superior da lagoa sofre processo aeróbio. Esse é o tipo de sistema de lagoas aeradas facultativas.

Para tanto, o parâmetro densidade de potência é que determinará se apenas manterá o OD suficiente para os microrganismos presentes ou, além disso, dispersará as partículas sólidas no meio líquido.

De forma resumida, a tabela 1 apresenta as diferenças básicas entre ambas as lagoas.

Tabela 1 – Principais características das Lagoas Aeradas Aeróbia e Facultativa

Características	Lagoa aerada aeróbia	Lagoa aerada facultativa
Controle de sólidos	Todos os sólidos fluem para outra unidade para sedimentação (lagoa de sedimentação).	Não se tem controle. Parte dos sólidos sedimenta nesta lagoa, não requerendo outra unidade para a sedimentação.
SST na lagoa	100 – 360	50 – 150
SSV/SST	0,7 a 0,8	0,6 a 0,8
Td	< 5 dias	5 a 12 dias
θ_c (idade do lodo)	< 5 dias	Alto devido à sedimentação de parte dos sólidos
Eficiência na remoção de DBO	50 – 60% (lagoa aerada) 90% (com sedimentação posterior)	70 – 80%
Nitrificação	Praticamente nula	Praticamente nula
Remoção de coliformes	Muito pobre	Pobre
Profundidade	2,5 a 5,0 m	2,5 a 5,0 m
Densidade de potência mínima	>3 W/m ³ para misturar	≥ 0,75 W/m ³ para oxigenar

2. Densidade de potência (Dp) ou potência unitária

O principal parâmetro que diferencia os dois tipos de lagoas é a potência fornecida pelos aeradores em função do objetivo a ser alcançado nas lagoas aeradas: principalmente difusão do oxigênio (facultativas) ou oxigenação e suspensão dos sólidos (aeróbia).

$$D_p = \text{Potência fornecida à lagoa} / \text{Volume da lagoa} \quad (1)$$

Foram levantados em literatura valores de Dp para lagoas aeradas aeróbias que vão de 2,5 a 30 W/m³, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Densidade de potência adotadas por diversos pesquisadores para Lagoas Aeradas

Autor	Lagoa aerada aeróbia (W/m ³)	Lagoa aerada facultativa (W/m ³)
Eckenfelder	2,5 - 4,0	0,7 - 1,0
Barsh e Randall	20	3,0 - 4,0
Bebin J.	10 – 30	3,0
Ramalho	>5,0	1,0 - 5,0
Fleckseder	20 (V=500 m ³) 10 (V=2.000 m ³)	
Rich (1980)	≥ 6,0	
Mara (1976)	5,0	
Eckenfelder, Jr. (1980)	2,3 a 3,9	
Arceivala (1973)	2,6 a 3,9	
Arceivala (1981)	≥ 2,75	
Metcalf & Eddy (1979)	15 a 20	

Quanto maior o volume da lagoa aerada, menor poderá ser a relação adotada para W/m³. No item de Demanda por Oxigênio será apresentada a fórmula do cálculo da densidade de potência.

A mistura e o oxigênio dissolvido no sistema de lagoas são cruciais para o alcance da boa eficiência do processo. A aeração pode ocorrer por três tipos de processos:

- Ar difuso: o ar pode ser introduzido nas lagoas através de tubulações em PEAD, cujos difusores ficam suspensos, ou difusores que ficam a cerca de 30 cm do fundo, ou em tubulações fixas suspensas na superfície da lagoa. O ar difuso de cadeias oscilantes é instalado perpendicularmente ao fluxo. A profundidade da lagoa deve estar entre 3,0 e 5,0 m. Este sistema pode proporcionar variação entre sistema aeróbio e anóxico, permitindo melhor remoção de nitrogênio.



Fig. 1 – Aeração por ar difuso com cadeias oscilantes - Wasserlink

- Aeradores mecânicos superficiais, de eixo vertical, que podem ser instalados fixos ou flutuantes, de forma intercalada, promovendo movimentos opostos entre os fluxos (fig. 2). A DP será superior a 5 W/m^3 .

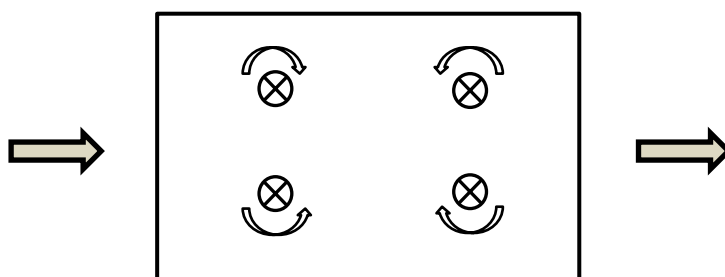


Fig. 2 – Distribuição dos aeradores quanto ao sentido da rotação

- Aeradores mecânicos superficiais de eixo horizontal. Apresentam potência variável, podendo ser utilizados para lagoas aeradas facultativas, com baixa potência, ou em lagoas aeradas aeróbias, que apresentem maior potência.



Aeradores mecânicos de eixo vertical produzem dois efeitos:

- o movimento rotatório gera uma força centrífuga, fazendo com que as partículas tendam a se sedimentar em direção aos cantos do reator,
- o movimento gera um vértice central de eixo vertical que origina linhas de fluxo concêntricas, dando como resultado um decréscimo no gradiente de velocidade, e em consequência, diminui o grau de turbulência.

Para compensar esses dois efeitos que tendem a sedimentar as partículas, apresentando baixa eficiência em termos de mistura, torna-se necessária uma potência adicional para produzir fluxos de interferência. Os fluxos de interferência podem ser conseguidos com a instalação de mais de um aerador, sem necessidade de aumentar a potência, porém diminuindo-se o raio de influência do aerador. Portanto, com a utilização de vários aeradores, a densidade de potência necessária para obtenção de regime de mistura completa é menor que com

um só aerador. A utilização de vários aeradores uniformemente distribuídos tem efeito similar à subdivisão do reator em várias câmaras em série com o fim de se conseguir maior eficiência na mistura. Essa avaliação também é válida para aeradores de eixo horizontal, porém estes promovem o fluxo de líquido para a entrada da lagoa somado ao fluxo de revolvimento das partículas sólidas a partir do fundo.

- A profundidade da lagoa vai depender do tipo de aeração escolhido:
 - Difusores em cadeias oscilantes: 3,0 a 5,0m
 - Aeradores mecânicos: 2,0 a 3,5m (dependendo da potência)
- Área superficial por aerador < 1.500 m²
- Volume por aerador < 6.000 m³

O aerador pode ser eficiente no fornecimento de oxigênio, mas não necessariamente na mistura, ou vice-versa. Portanto, o teste prático realizado pelo fabricante é muito importante para avaliação da eficiência de oxigenação e mistura.

A escolha do tipo de aeração depende da vazão de esgoto a ser tratada, mais especificamente da carga orgânica, pois em sistemas pequenos, a aeração por ar difuso torna-se inviável pelo custo do compressor e linhas de ar. Os aeradores superficiais são mais baratos, mas devem ser bem dimensionados, garantindo a eficiência esperada.

De acordo com pesquisa realizada por Said et al., o desligamento de aeradores durante o período de 3 horas diárias nos sistemas de lagoas aeradas, não prejudica a eficiência das mesmas em termos de remoção de DBO e é bastante representativa no consumo de energia elétrica, sobretudo se o desligamento ocorrer em período de ponta (3h consecutivas entre 17 e 20h, dependendo da concessionária de energia).

1. CINÉTICA DE LAGOAS AERADAS AERÓBIAS

No conceito da cinética de lagoas aeradas aeróbias são feitas as seguintes considerações:

- estabilização da matéria orgânica por via aeróbia;
- lagoa com comportamento de reator de mistura completa;
- DBO (DQO) no efluente é considerada solúvel, sendo a DBO (DQO) devido aos SSV considerada separadamente;
- concentração de biomassa ativa afluyente à lagoa é nula;
- lagoa em equilíbrio contínuo;
- balanço de massa desconsidera percolação, chuva e evaporação.

Efetuada-se o balanço de massa, tem-se:

Taxa de variação de biomassa na lagoa = Taxa produção de biomassa pelas reações de síntese – Taxa de destruição de biomassa pela reação endógena – Taxa de saída de biomassa da lagoa

$$V \cdot dX_v/dt = Y \cdot Q \cdot (S_o - S_e) - b \cdot X_v \cdot V - Q \cdot X_v \quad (1)$$

Em condições estacionárias, $dX_v/dt = 0$, daí:

$$Q \cdot X_v = Y \cdot Q \cdot (S_o - S_e) - b \cdot X_v \cdot V \quad (2)$$

$$X_v = \frac{Y \cdot (S_o - S_e)}{1 + b \cdot t} \quad (3)$$

Sendo:

X_v : SSV na lagoa ou no efluente da lagoa aeróbia (mg/L)

Y : coef. síntese celular (massa SSV produzida/massa DBO removida)

S_o : DBO (substrato) na alimentação (mg/L)

S_e : DBO solúvel no efluente da lagoa aeróbia (mg/L)

b : coef. de respiração endógena (massa SSV destruída/massa SSV no sistema.d)

t : tempo de detenção hidráulico (d), que corresponde também ao tempo de detenção celular, quando não há recirculação.

A partir do balanço de massa, considerando-se a utilização de substrato com comportamento similar à utilização de enzimas, utiliza-se a equação de Michaelis Mentem e obtém-se, de forma simplificada, a equação:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_v \cdot t} = k \cdot S_e \quad (4)$$

Como a remoção de substrato é dependente da temperatura, deve-se definir o valor do coeficiente da taxa específica de remoção de substrato à temperatura do meio líquido (k_{T_2}).

$$k_{T_2} = k_{T_1} \cdot \theta^{(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

θ : coeficiente de temperatura

k_{T_1} : coeficiente da taxa específica de remoção de substrato à temperatura do esgoto, normalmente adotada em 20°C (L/mg.d)

k_{T_2} ou k : coeficiente da taxa à temperatura do meio líquido (L/mg.d)

A temperatura média do meio líquido é calculada da seguinte forma:

$$T_2 = \frac{A \cdot f \cdot T_a + Q \cdot T_e}{A \cdot f + Q} \quad (6)$$

Onde:

A: área média da lagoa aerada (m²)

f: coeficiente de troca de calor (0,49 m/d)

T_a: temperatura média do ar no mês mais frio do ano (°C)

Q: vazão de esgoto afluyente (m³/d)

T_e: temperatura média do esgoto (°C)

A DBO solúvel do efluente da lagoa aerada pode ser obtida a partir das equações (3) e (4):

$$S_e = \frac{1 + b \cdot t}{Y \cdot k \cdot t} \quad (7)$$

A DBO total do efluente (S_T) é dada por:

$$S_T = S_e + p \cdot X_v \quad (8)$$

Sendo $p = \text{DBO/SSV}$ no efluente. O valor de p está na faixa entre 0,4 e 0,8 kg DBO/kg SSV. Além e Muñoz determinaram $p = 0,45$ kg DBO/kg SSV para $t_d = 2 - 4$ dias.

O parâmetro DBO pode ser substituído por DQO em todo o dimensionamento.

A variação de DBO ou DQO afluyente praticamente não altera a DBO solúvel no efluente final. Observa-se na fig. 3 que tempos de detenção superiores a 4 dias, a conc. de DBO sol. no efluente praticamente não se altera.

Tab. 3 – Parâmetros cinéticos adotados por alguns autores

Autor	Coef. Temperatura θ	k 20°C L/mg.d	Y Kg SSV/kg DBOrem.	b 1/d	a' kg O2/kg DBO rem	b' kg O2/kg SSV.d
Metcalf & Eddy	1,06 - 1,12	-	0,4 - 0,8	0,025 - 0,04	0,75	-
Mancini	1,06 - 1,18	-	-	-	-	-
Eckenfelder	1,035	-	-	-	-	-
McKinney	1,05 - 1,10	0,08	0,5	0,2	-	-
Valencia	1,06	-	0,49 - 0,64	0,005	0,52	-
Yanez	1,10	-	0,35 - 0,65	0,08 - 0,14	0,4 - 1,4	-

(continuação) Tab. 3 – Parâmetros cinéticos adotados por alguns autores

Autor	Coef. Temperatura θ	k 20°C L/mg.d	Y Kg SSV/kg DBOrem.	b 1/d	a' kg O ₂ /kg DBO rem	b' kg O ₂ /kg SSV.d
Center R.W.R	1,08	0,21	0,65	0,075	0,53	-
Balasha	1,03 - 1,04	0,031	0,60	0,06	0,44	0,25
Além & Muñoz		0,052	0,7			
Thirumurthi	1,035 - 1,041	-	-	-	-	-
Sorab	1,035	0,017 - 0,038	0,5 - 0,7	0,075 - 0,125	0,3 - 0,52	0,05 - 0,14

Os valores mais comumente adotados como coeficiente de temperatura, θ , é 1,035 e para o coeficiente da taxa específica de remoção de substrato, k ou k_{TL} , valores entre 0,017 e 0,038 (0,025) L/mg.d.

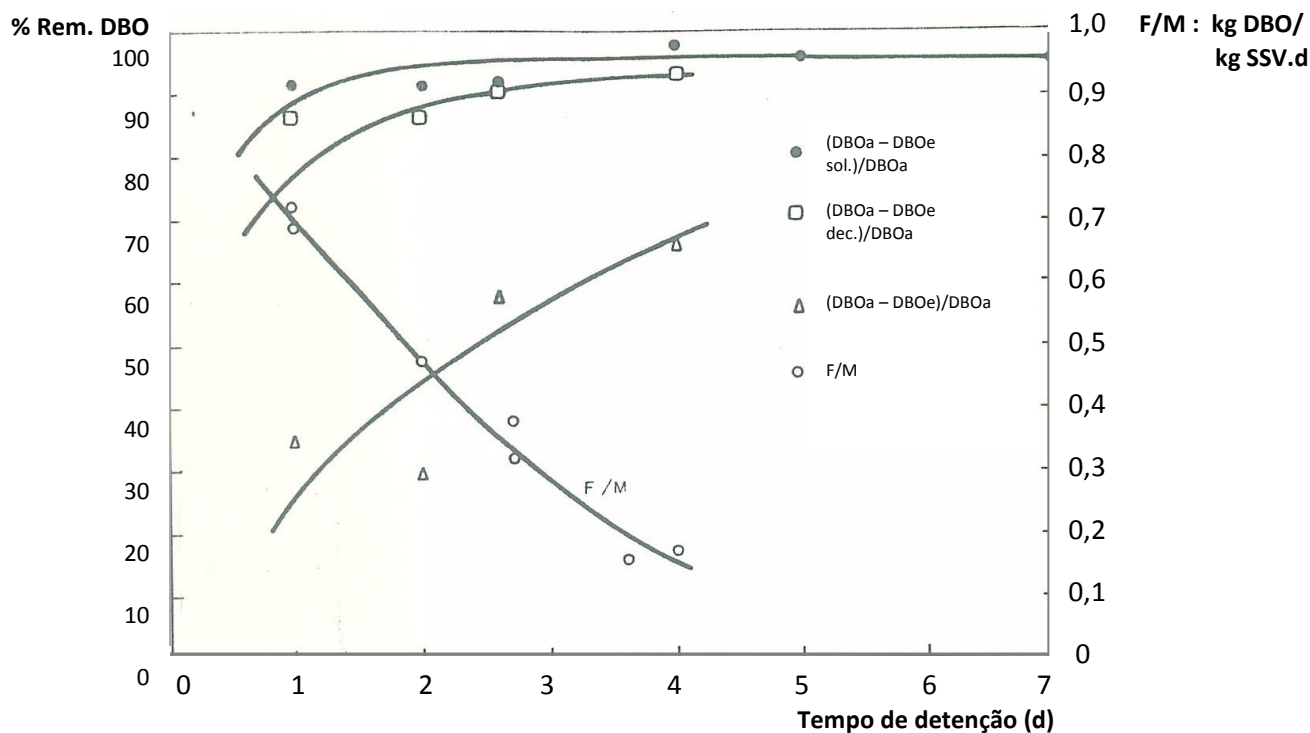


Fig. 3 – Remoção de DBO em função do tempo de detenção

2. DEMANDA DE OXIGÊNIO

A demanda por oxigênio, em lagoas aeradas, pode ser expressa em função da massa de oxigênio necessária para a oxidação do substrato (metabolismo) e para a respiração endógena.

$$\text{Dem. O}_2 = a' \cdot Q \cdot (S_o - S_e) + b' \cdot X_v \cdot V \quad (9)$$

Dem. O₂ = kg O₂/d para o metabolismo e para a respiração endógena

a': fração do substrato removido utilizado para produção de energia, kg O₂/kg DBO

b': coeficiente de utilização do oxigênio devido à respiração endógena, kg O₂/kg SSV.d.

Os valores mais usuais para a' e b' são: a' = 0,3 a 0,63 e b' = 0,05 a 0,28.

Na literatura foram encontradas as seguintes afirmações:

(1) em lagoas aeradas de mistura completa tratando esgotos domésticos, o fornecimento de O₂ é garantido, pois a energia necessária para a agitação é suficiente para fornecer o oxigênio necessário ao processo biológico e

(2) no cálculo da demanda de oxigênio e da potência, não está computada a potência necessária para promover a mistura da massa líquida e para a manutenção dos sólidos voláteis em suspensão.

Alguns autores utilizam a expressão simplificada, em que a demanda por oxigênio é expressa em função de um coeficiente global:

$$\text{Demanda de O}_2 = a \cdot Q \cdot (S_o - S_e) \quad (10)$$

Sendo **a** = coeficiente global de utilização de oxigênio. Adotado como 1,2 – 1,4 kg O₂/kg DBO.

O valor de **a** se eleva juntamente com o tempo de detenção, porém entre 3 e 5 dias, a variação é desprezível.

Praticamente se obtém mistura total na lagoa com densidade de potência de 3 a 3,5 W/m³, sendo o mais comum se atingir essa condição com densidade de potência superior a 6W/m³. De 4 a 6W/m³ tem-se mistura próxima à total (ref. 2).

A taxa de transferência de oxigênio no campo, N, é dada pela equação:

$$N = N_o \cdot \alpha \cdot \frac{(\beta \cdot C_{sw} - C_L)}{C_{st}} \cdot 1,024^{(T-20)} \quad (11)$$

Onde:

N = taxa de transferência de oxigênio no campo, kg O₂/kWh

N_o = taxa de transferência de oxigênio sob teste em condições padrões: 20°C, OD = 0 mg/L.
Varia de 1,5 a 2,0 kg O₂/kWh, e é fornecido pelo fabricante.

$\alpha = \frac{\text{taxa de transferência de O}_2 \text{ no esgoto}}{\text{taxa de transferência de O}_2 \text{ em água pura}} = 0,70 \text{ a } 0,85$ (0,8 adotado por Mara, 1976).

$\beta = \frac{\text{saturação de O}_2 \text{ no esgoto}}{\text{saturação de O}_2 \text{ na água pura}}$

$\beta = 0,85 - 0,90$ para esgotos domésticos (0,9 adotado para esgotos domésticos por Mara, 1976)

C_{sw} = saturação de O₂ em água pura a uma dada temperatura, mg/L.

C_L = OD na lagoa, mg/L. Varia de 0,5 a 2,0 mg/L (Mara, 1976 e Arceivala, 1973).

C_{st} = saturação de O₂ em água pura em condições padrões de teste a 20°C, ao nível do mar.

C_{st} = 9,17 mg/L

T = temperatura média anual no meio líquido (T₂), °C.

$$\text{Potência total necessária} = P_t = \frac{\text{Demanda O}_2 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot N \cdot \eta} \quad (12)$$

$$DP = \frac{P_t \cdot 10^3}{V} \quad (13)$$

Sendo η o rendimento do aerador, informado pelo fabricante e DP a potência unitária de aeração ou densidade de potência em W/m³.

Analisando-se literaturas mais antigas, observou-se que a fórmula de cálculo sofreu alterações, bem como o roteiro de cálculos. Na década de 70, por exemplo, Gloyna (apud Sena) propõe a determinação de potência dos aeradores com base na necessidade da aeração mecânica, ou seja, R_m:

$$R_t = R_s + R_m \quad (14)$$

Sendo,

R_t: massa horária de oxigênio total necessária, que representa a necessidade de oxigênio para a DBO removida ($a' \cdot Q \cdot (S_o - S_e)$). Considerando que não consumo pela respiração endógena.

R_s: reaeração superficial (kg O₂/m²), que considera a temperatura, o coeficiente de aeração e a concentração de saturação de oxigênio. Este parâmetro é multiplicado pela área.

R_m: oxigenação a ser complementada pela aeração mecânica. Esta massa de oxigênio necessária por tempo é a utilizada no dimensionamento da potência dos aeradores.

Esse formato de dimensionamento propõe a instalação de aeradores com menor capacidade.

Algumas projetistas estabelecem o tempo de detenção, sem realizar a iteração para o dimensionamento da lagoa aerada. Enfim, são formatos de projeção que não imprimem segurança ao sistema e que certamente foram utilizados para sistemas que estão em operação até hoje.

Para condições aeróbias adequadas, recomenda-se:

Nº unidades com aeração superficial > 2.

Densidade de potência > 4 W/m³. Alguns autores utilizam DP > 10 W/m³, garantindo maior segurança na qualidade do tratamento pela mistura e oxigenação.

Volume alcançado por aerador < 6.000m³.

Profundidade da lagoa: 3 – 4 m.

F/M = 0,2 a 0,5 kg DBO/kg SSV.d

Tempo de detenção: td = 2 – 4 d apresenta boa floculação biológica.

O prof. dr. Pedro Além Sobrinho recomenda os seguintes valores para os respectivos parâmetros nos projetos de lagoa aerada seguida de lagoa de decantação, conforme apresentados na tabela 4.

Tab. 4 – Considerações para projetos de lagoas aeradas

Projeto sem nitrificação	Projeto com nitrificação	Volume das unidades	Consumo de oxigênio
Td = 3 dias mesmo para temperaturas inferiores a 20°C.	Td = 4,1 dias para 20°C; sugerido o valor de 5 dias, devido à baixas temperaturas no inverno.	Acréscimo de 66% no volume da lagoa aerada.	Acréscimo de 50% na demanda média de oxigênio.
Demanda de O ₂ ~ 0,9 kg O ₂ /kg DBO afluente (para DBO = 300 mg/L e N-NTK = 50 mg N/L). Não considerando o horário de pico.	Demanda de O ₂ ~ 1,4 kg O ₂ /kg DBO afluente (para DBO = 300 mg/L e N-NTK = 50 mg N/L). Não considerando o horário de pico.		
DBO efluente ≤ 40 mg/L Efic. remoção N total < 10%.	N-NH ₃ efluente = 10 – 14 mg N/L.		

Fonte: ref. 7.

É importante considerar que para o alcance de uma eficiência satisfatória no tratamento biológico é necessário que se mantenha uma relação adequada entre o substrato e a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

Tab. 5 – Remoção de DBO em função da concentração de nitrogênio (N) e fósforo (P)

DBO : N : P	DBO		
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	% Remoção
100 : 5 : 1	880	11	98,8
100 : 2 : 0,5	880	18	98,6
100 : 1 : 0,2	880	77	91,2
100 : 0,5 : 0,1	880	130	85,2
Sem nutrientes	880	227	74,2

3. ESTRUTURA DAS LAGOAS

3.1. Dimensões

As lagoas aeradas podem ter formato quadrado ou retangular. A relação entre comprimento e largura para lagoas retangulares é de 2-3 para 1, referente ao nível médio da lagoa.

As lagoas aeradas devem funcionar preferencialmente como reatores de fluxo pistão, que só é possível com uma grande relação entre comprimento e largura. Na prática, isto é difícil por causa da necessidade de se obter um terreno propício, ou seja, longos e estreitos. Esse comportamento só será alcançado em lagoas aeradas facultativas.

Os taludes de lagoas aeradas mecanicamente apresentam relação de inclinação de 1,0 para 1,5-2,0.

3.2. Tipo de Montagem

A lagoa deve ser construída em área distante a, pelo menos, 400m das residências e o vento deve soprar no sentido das residências para as lagoas, de forma a evitar o fluxo de gases, especialmente do metano, para a população, e no sentido transversal ao fluxo de esgoto na lagoa.

As paredes internas devem ser impermeabilizadas adequadamente, de forma a impedir a contaminação do aquífero.

4. CONTROLE OPERACIONAL

4.1. Medição de vazão de esgoto e monitoramento da qualidade

O conhecimento da vazão, bem como da qualidade do esgoto que chega na estação são essenciais para a avaliação: de possíveis “choques” de carga ou de volume, da eficiência do processo, e do controle do oxigênio dissolvido, se a aeração for passível de controle. Devem ser instalados medidores de vazão afluente e efluente com totalizador, a fim de monitorar a perda de esgoto por evaporação ou possível infiltração no solo.

O bom funcionamento da fase preliminar é essencial, pois falha no gradeamento (manual ou mecanizado) ocasionará obstrução da grade e extravasamento de esgoto, podendo provocar contaminação no solo. A ineficiência na remoção de areia promoverá maior deposição na entrada da lagoa aerada e consequente redução no seu volume. Vazão afluente muito abaixo da prevista em projeto permitirá deposição acentuada de areia no canal, cuja qualidade será muito ruim em decorrência da elevada quantidade de matéria orgânica agregada à areia. Esse fato pode aumentar a presença de vetores e o mau cheiro.

O principal controle está no contínuo funcionamento dos aeradores ou compressores, dependendo do processo de aeração escolhido. A baixa aeração ocasionará baixa eficiência na sedimentação dos sólidos, crescimento de algas, queda na eficiência do processo. A ineficácia no processo de sedimentação também pode ser decorrente da baixa aeração, cujo metabolismo das células dificulta a liberação de gel celular que floclula as células naturalmente. Desse modo, os flocos não se formam, causando elevada concentração de SST no efluente das lagoas de sedimentação.

Atentar que as lagoas (aeradas, de sedimentação e outras) nunca devem ser esvaziadas, devendo-se manter seu nível d'água, no mínimo, até o nível concretado do talude.

A ocorrência de choque químico (alteração brusca de pH, presença de compostos químicos tóxicos) ou aumento excessivo de vazão, pode levar à redução de microrganismos nas lagoas aeradas, reduzindo a eficiência na remoção de DBO.

4.2. Lagoas de sedimentação

Na sedimentação é recomendado tempo de detenção de 1 dia, suficiente para a sedimentação dos flocos, pois apresentam elevada velocidade de sedimentação, desde que os flocos estejam bem formados, descontando o volume necessário para a sedimentação do lodo. A boa formação de flocos deve-se, não só à qualidade do esgoto, mas também às boas condições físicas proporcionadas aos microrganismos na lagoa aerada, o que é possível com $t_d > 2$ dias e OD entre 1,0 e 1,5 mg/L. Nas lagoas de sedimentação, a profundidade mínima deve ser de 3 metros, de tal modo que se tenha, no mínimo, 1 metro de líquido acima do lodo para não gerar odores.

Elevado tempo de detenção (superior a 2 dias) geram algas e flotação do lodo e, portanto, reduzem a eficiência tanto em concentrações de DBO, quanto de SST.

O controle de nível das lagoas de sedimentação deve ocorrer em função do acúmulo de lodo nestas lagoas, de tal modo que, em função do nível de lodo sedimentado, não ocorra:

- arraste de sólidos,
- escape de gases formados pela digestão anaeróbia,

- formação de algas,
- formação de placas de lodo flotado (bloco que “estoura” ao chegar à superfície).

A remoção de lodo das lagoas de sedimentação deve ser fácil e periódica, sem que ocorra a paralisação do tratamento. Ao invés de lagoas de sedimentação, também podem ser instalados sistemas de decantação com placas ou módulos sedimentadores.

O lodo removido, já estabilizado, será conduzido ao leito de secagem coberto com material translúcido, a lagoas de lodo ou poderá ser armazenado em bags. O líquido drenado deve ser bombeado para a elevatória e o lodo com maior concentração de sólidos estará apto a ser transportado ao aterro sanitário. Além dessas possibilidades para a desidratação do lodo retirado das lagoas de sedimentação, há ainda o encaminhamento do lodo para lagoas de lodo, ou melhor ainda, a centrifugação.

A limpeza deve ser prevista para ocorrer a cada 2 ou 3 anos. Caso haja baixa concentração de sólidos no esgoto e/ou baixa produção de lodo, o nível de lodo subirá mais lentamente, fazendo com que as lagoas de sedimentação suportem mais tempo sem limpeza.

4.3. Microbiologia

Os microrganismos presentes em lagoas aeradas são idênticos aos presentes em lodos ativados, mas em menor concentração, sendo o SSV = 100 a 400 mg/L, enquanto que em lodos ativados o SSV = 1.500 a 4.000 mg/L. Microfauna característica desse tipo de tratamento é composta por ciliados livres e pedunculados, flagelados, rizópodes, rotíferos e anelídeos.

As características morfológicas dos flocos não apresentaram variações consideráveis para diferentes tempos de detenção, mas foram ligeiramente melhores para tempos de detenção maiores. Porém, outros interferentes, além do tempo de detenção são tão ou mais importantes. Entre eles: a disponibilidade de alimentos, a concentração de oxigênio dissolvido e outros fatores que proporcionem ambiente adequado aos microrganismos.

Os flocos começam a ser formados quando a disponibilidade de alimento fica reduzida, os organismos entram em fase de respiração endógena, colidem entre eles (se a agitação for suficiente) e o nível de energia dos organismos fica reduzido, não sendo suficiente para superar a força de atração entre as células.

A presença de nitrogênio amoniacal e fosfato solúvel também interferem positivamente na formação do floco.

RESULTADOS

Nos sistemas de lagoas aeradas, observa-se que a má sedimentabilidade do lodo não está diretamente relacionada à eficiência na remoção de DBO. Dos 19 sistemas avaliados da SABESP, apenas 2 apresentaram dados insatisfatórios e pontuais, cuja eficiência em remoção de DBO foi em média 70%; os demais sistemas apresentaram eficiência entre 79-94%, tendo como média 86%.

O estabelecimento de alguns parâmetros para o dimensionamento de aeradores, para definição do número e potência dos aeradores, afeta a qualidade do efluente, sem, contudo alterar o dimensionamento dos tanques.

Como a concentração de SST não é limitada pela legislação (federal ou estadual), normalmente este parâmetro não é analisado, mas para os (09) sistemas analisados, a eficiência para este parâmetro variou de 63 – 88%, tendo como média 71%. Resultado bom, mas que não está aderente aos percentuais apresentados em projetos, que estão entre 80 e 90%.

Observa-se um efluente turvo, com baixíssima concentração de matéria orgânica, mas com flocos muito pequenos, “flocos pontuais”, fato relacionado ao processo de floculação biológica. O crescimento disperso não permite a formação de flocos. A sedimentação desses flocos só é possível com a adição de floculante ou polieletrólito.

CONCLUSÃO

Lagoas aeradas apresentam excelente eficiência na remoção de matéria orgânica a baixo custo operacional e baixo investimento. Porém, o dimensionamento inadequado do sistema de aeração, bem como a falta de gestão de recebimento de carga industrial podem promover ambientes inadequados para o crescimento dos microrganismos e conseqüentemente dificultar o processo de biofloculação das partículas sólidas.

Normalmente chega-se a eficiência de remoção de SST entre 63 – 88% (média de 71%), porém os projetos apresentam valores entre 80 e 90%.

Embora o parâmetro SST não seja limitado nem na legislação estadual (DE 8468/76), nem na regulamentação federal (CONAMA 430/11), há limite para SS (sólidos sedimentáveis) para o efluente, que é de 1,0 mL/L. Como os sólidos suspensos aí presentes não sedimentam em um hora (tempo para análise de sedimentação em cone Imhoff), e a concentração de SS no efluente é baixo, atendendo à legislação, portanto este parâmetro não constitui problema ao sistema.

RECOMENDAÇÕES

Em primeiro lugar, o dimensionamento correto de aeradores é essencial para a boa eficiência do processo no que diz respeito à floculação dos microrganismos. A definição de aeradores adequados, em número suficiente para manter a dispersão das partículas sólidas e o oxigênio dissolvido entre 1,5 e 2,0 mg/L são fatores essenciais para a excelente qualidade do efluente.

As lagoas de sedimentação são dimensionadas com base no tempo de detenção, apenas. Porém, deve-se levar em consideração que o comprimento da lagoa de sedimentação deve garantir que a partícula sedimento, considerando que a velocidade de sedimentação da partícula deve ser superior à velocidade do fluxo da partícula ao longo da lagoa.

Na fase de operação, deve haver a preocupação em se operar o sistema de forma adequada desde o processo preliminar, com o intuito de evitar problemas nas lagoas aeradas decorrentes da deposição de areia.

Os percentuais de eficiência em remoção de SST admitidos pelas projetistas não condizem com a realidade observada nas estações atualmente em operação.

Um projeto bem feito alinhado ao controle operacional do sistema, visando boa qualidade do efluente e redução de custos operacionais são fatores determinantes para o sucesso de um sistema de tratamento.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ALÉM SOBRINHO, P., RODRIGUES, M. R. - "Lagoas aeradas aplicadas ao tratamento de esgotos domésticos. XI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ambiental, ABES, Fortaleza, 1981.
2. ALÉM SOBRINHO, P. Lagoas aeradas – aspectos teóricos, resultados experimentais – considerações sobre o projeto. Esc. Politécnica – USP, 1997.
3. MENDONÇA, S. R. "Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos". João Pessoa, 1990. 388 págs.
4. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf
5. Norma Técnica SABESP NTS230 – Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário, 30 p., 2009.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 12209/11 – Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.
7. 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, 1999.
8. Informações do Dr. Pedro Além Sobrinho, agosto 2006.
9. LEWANDOWSKI, W.; BRADLEY, S. "A Survey of Aerated Lagoon Performance". Ontario. Ministry of the Environment, nº 85, 1981. 58p.

10. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Congresso Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. São Paulo; CETESB, 1979.
11. SENA, O. L. S. “Lagoas de Estabilização Mecanicamente Aeradas – Curso de Lagoas de Estabilização”. Revista DAE, São Paulo, v. 31, nº 80, 1971.