

# Disposição e/ou estocagem de lodos digeridos em lagoas.

## Possibilidades de utilização das lagoas de Barueri (\*)

Eng. Pedro Alem Sobrinho  
(M.Sc, Dr.) — (1)

### 1. INTRODUÇÃO

Lagoas de lodo foram utilizadas em várias partes do mundo, principalmente para estocagem de lodo digerido, por períodos de tempo variáveis. Infelizmente, a maioria dessas lagoas de lodo têm sido utilizadas sem preocupações com o impacto, particularmente o estético, no meio ambiente das áreas vizinhas. Tal situação fez com que as lagoas de lodo adquirissem má fama, a ponto de a simples utilização do termo "Lagoa de Lodo" ser frequentemente suficiente para eliminar a sua consideração como alternativa a ser analisada, durante um bom período de tempo.

Estudos recentes, realizados em Sacramento, Califórnia, USA, baseados em resultados de lagoas de lodo (facultativa) operando com sucesso em Auckland, Nova Zelândia, indicaram que lagoas de lodo podem ser projetadas sem causar prejuízos estéticos inaceitáveis pela vizinhança e, ainda, ser uma solução economicamente vantajosa.

O sistema de lagoas utilizado para os estudos de Sacramento, Califórnia, tem capacidade de estocagem de lodo digerido para um período de cinco anos de produção de lodo da estação de tratamento de esgotos. O lodo estocado nas lagoas (facultativas) continua a se estabilizar sem criar um nível de odor inaceitável pela vizinhança.

Em São Paulo, o programa de esgotos da RMSP previa, em princípio, a utilização de lagoas de lodo, com área total de aproximadamente 60 ha e profundidade de até 25 a 30 m, por um período de dez anos.

Em vista dos problemas ambientais causados por várias lagoas de lodo,

em várias partes do mundo, é necessário que se desenvolvam estudos visando obter dados para uma utilização dessa solução, de modo que não se venha a ter repugnância por parte da população vizinha à sua área, principalmente por eventuais maus odores que possam surgir, pela inadequada operação do sistema.

As lagoas de lodo podem ser do tipo facultativo ou anaeróbia, e ambos os tipos serão considerados neste trabalho que tem por base uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto.

Considerações sobre a eventual utilização das lagoas de Barueri para receber os lodos digeridos da ETE de Barueri da RMSP são feitas no final deste relatório.

### 2. LAGOAS DE LODO FACULTATIVAS

#### Generalidades

Lagoas de lodo facultativas são projetadas para manter uma camada superior aeróbia, com superfície livre de espuma.

As vantagens e limitações das lagoas de lodo facultativas são a seguir apresentadas:

- Proporcionam períodos longos de estocagem de lodo, ou mesmo disposição final de lodo, com possibilidade dos impactos ambientais causados serem aceitáveis. Os riscos de mau odor e de contaminação do lençol freático podem ser minimizados.
- A decantação dos sólidos garante uma reciclagem mínima desses sólidos com o sobrenadante (normalmente inferior a 500 mg/l e concentração adequada para estocagem e eficiente recuperação dos sólidos (superior a 6%) partindo-se de concentrações de lodo digerido de 2%.
- A detenção dos líquidos, por longo período de tempo, é um dos poucos meios naturais de redução dos organismos patogênicos contidos nos lodos.

- A mão-de-obra de operação e consumo de energia podem ser considerados baixos.
- Uma vez estabelecido o efeito tampão do sistema é quase impossível de ser quebrado.
- Permite que todos os digestores contribuintes operem como primários e de mistura completa. Apenas em grandes instalações, um tanque de mistura dos lodos pode ser necessário.
- Permite disposição, em condições ambientais aceitáveis, do conteúdo de digestores, durante eventuais necessidades de limpeza de digestores.
- A "recuperação" de lodo é completamente independente da produção de lodo.

— Limitações das lagoas de lodo facultativas

- Podem ser utilizadas apenas para lodos digeridos anaerobicamente. Se ocorrer nas lagoas predomínio da fase de digestão ácida, elas apresentarão mau cheiro.
- Lagoas com grande área superficial necessitam medidas especiais para atenuar o mau cheiro.
- Requer grandes áreas de terra. Para estação de lodos ativados são necessários 13 ha para cada 1 m<sup>3</sup>/s de vazão afluente ao tratamento.
- Necessita ser protegida contra inundações.
- O sobrenadante contém 300-600 mg/l de nitrogênio Kjeldahl total, sendo a maior parte na forma amoniacal.
- A disposição de fosfato de magnésio e amônia (struvite) requer projeto especial no que se refere ao sobrenadante.

#### TEORIA DAS LAGOAS DE LODO FACULTATIVAS

Nas lagoas de lodo facultativas, a camada aeróbia é mantida pela utili-

(\*) Trabalho desenvolvido através do Convênio DAEE-Cetesb

(1) Engenheiro da Diretoria de Pesquisas da Cetesb. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP e da E. E. Mauá.

zação de uma taxa superficial de aplicações de carga orgânica abaixo de um valor limite crítico e, também utilização de agitadores de superfície de modo a se obter a agitação e mistura da camada aeróbia da superfície. A camada aeróbia superficial das lagoas de lodo facultativas é normalmente de 0,3 a 0,9 m de profundidade e possuem uma alta densidade de população de algas, entre  $50 \times 10^3$  e  $6 \times 10^6$  organismos/ml (normalmente *Chlorella*). O suprimento de oxigênio é feito pela fotossíntese das algas, pela transferência direta da atmosfera através da superfície e eventualmente pelos agitadores de superfície, se existentes. O oxigênio é utilizado pelas bactérias na degradação da matéria orgânica coloidal e solúvel do líquido do lodo digerido, enquanto os sólidos do lodo digerido sedimentam no fundo da lagoa, onde a decomposição anaeróbia continua. O sobrenadante das lagoas é retornado à entrada da estação de tratamento de esgotos.

Os nutrientes e o  $\text{CO}_2$  liberados em ambas degradações, aeróbia e anaeróbia, da matéria orgânica remanescente no lodo digerido, são utilizados pelas algas no relacionamento simbiótico. Este relacionamento mantém o pH da camada aeróbia da lagoa de lodo facultativa, entre 7,5 e 8,5, o qual efetivamente minimiza o efeito de qualquer  $\text{H}_2\text{S}$  liberado, e este fato é considerado como um dos principais pontos para a boa operação de uma lagoa de lodo.

Lagoas de lodo facultativas necessitam operar em conjunto com digestores anaeróbios. Elas não podem operar adequadamente, sem problemas ambientais, quando alimentados com lodo não digerido ou digerido aerobicamente. Se a fase ácida da digestão se tornar predominante, a lagoa desprenderá maus odores.

Lodos digeridos aerobicamente, normalmente, sofrem nitrificação e a desnitrificação, que ocorrerá ao fundo da lagoa, causará a subida de grande quantidade de lodo para a superfície da lagoa. A Figura 1 é uma representação esquemática das reações em uma lagoa de lodo facultativa típica.

### ESTÁGIO ATUAL DO CONHECIMENTO DE LAGOAS DE LODO FACULTATIVAS

Lagoas de lodo facultativas foram inicialmente instaladas em 1960 em Auckland, Nova Zelândia, junto à ETE de Mamku, para estocagem e disposição do lodo primário digerido anaerobicamente. Embora outras lagoas tenham sido instaladas em Dublin — San Ramon, Califórnia em 1935, Medford, Oregon em 1971 e, em outros locais dos USA, desde 1960, numa tentativa de se repetir o sucesso alcançado nas instalações de Auckland, somente em 1974 é que a taxa superficial de aplicação de carga orgânica

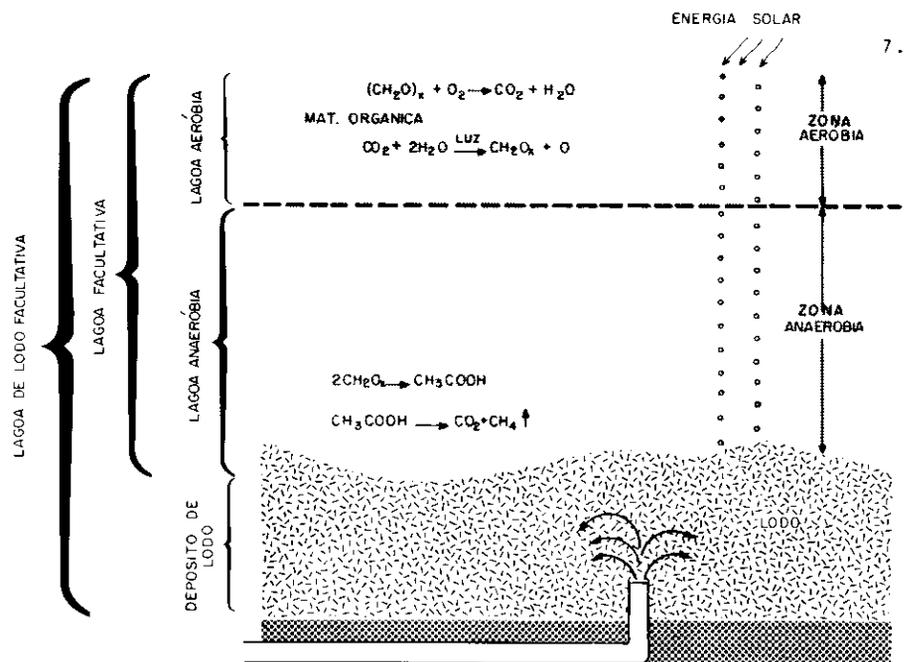


Figura 1 — Representação esquemática de uma lagoa de lodo facultativa

foi reconhecida como o critério crítico para o dimensionamento de lagoas de lodo facultativas. Estudos desenvolvidos em Sacramento, Califórnia, desde 1974, com uma área de lagoas de lodo facultativas de 16,2 ha, determinaram que a taxa superficial de aplicação de carga orgânica ( $C_s$ ) para um bom desempenho das lagoas ao longo de todo o ano ( $C_s = 1.000 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$ ) pode ser dobrada durante o período quente de verão. A redução da atividade das algas durante os meses mais frios do inverno indica que o valor de  $C_s = 1.000 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$  não deve ser ultrapassado.

Desde 1974, outras lagoas de lodo facultativas têm sido colocadas em operação em Corvallis, Oregon ( $A = 1,82 \text{ ha}$ ) e Salinas, Califórnia ( $A = 2,43 \text{ ha}$ ).

Outras lagoas de lodo facultativas estão sendo construídas, ou projetadas, para Eugene-Springfield, Oregon (10,1 ha); Red Bluff, Califórnia (0,38 ha); Sacramento, Califórnia (34 ha); Flagstaff, Arizona (2,95 ha); e Colorado Springs, Colorado (24,3 ha).

### CRITÉRIO DE PROJETO

As considerações de projeto para lagoas de lodo facultativas incluem a taxa superficial de aplicação de carga orgânica, necessidade de agitação superficial, limitações de dimensões e *lay-out* e fatores físicos. Todos esses fatores têm merecido atenção, desde 1974, nos estudos realizados nas lagoas de lodo de Sacramento.

● **Taxa Superficial de Aplicação de Carga Orgânica ( $C_s$ )** — para se manter uma camada superficial aeróbia,  $C_s$  não deve ultrapassar os  $1.000 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$  como média anual, quando se têm temperaturas baixas e pouca insolação durante o inverno. Tem sido observado que as lagoas de lodo facultativas po-

dem receber em um dia até quatro vezes a taxa superficial média de aplicação de carga orgânica, desde que se tenha três dias sem qualquer alimentação da lagoa. Também tem sido constatado que valores de  $C_s = 2.000 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$  são perfeitamente aceitáveis, durante o período de temperaturas mais elevadas e maior período de insolação. Outro dado experimental obtido em Sacramento é que para o período de temperaturas mais altas, as lagoas podem suportar valores de  $C_s$  até  $4.400 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$ , desde que tal valor de  $C_s$  não persista por mais de uma semana. A persistência de  $C_s = 4.400 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$  por mais de uma semana, faz com que a lagoa deixe de operar adequadamente.

### ● Necessidade de Agitação Superficial

— As experiências com as lagoas de Sacramento, operando com valor médio anual de  $C_s = 1.000 \text{ kgSV/ha} \times \text{dia}$ , indicaram que o funcionamento das lagoas não é adequado, do ponto de vista da qualidade do meio ambiente das áreas próximas, a menos que os equipamentos de agitação superficial operassem diariamente. As observações indicaram que um misturador do tipo escova, de eixo horizontal, é necessário para se desfazer uma película superficial que se forma durante a alimentação da lagoa.

Se esta película não é eliminada, a maior parte da fonte de oxigênio, que é transferida para a camada superficial da lagoa, é eliminada. Lagoas de lodo facultativas com 1,6 a 2,8 ha necessitam de dois agitadores superficiais, operando de 6 a 12 horas por dia para dissipar a película superficial que se formaria durante a alimentação da lagoa. Atualmente, todas as lagoas de lodo facultativas que estão funcionando adequadamente, têm utilizado

agitadores superficiais flutuantes, tipo escova, de eixo horizontal, para atender às necessidades de agitação. Experiências mais recentes indicaram que dois agitadores, tipo escova, com rotor de 2,4 m de comprimento, girando a 70 rpm e tocado por motor de 15 HP (11,2 kW), operando 12 horas por dia, eram adequados para lagoas de 1,6 a 2,8 ha. Lagoas com áreas bem menores do que 1,6 ha terão sua superfície adequadamente agitada com dois agitadores de 1,8 m de comprimento e motor de 5 HP (3,7 kW), operando 12 horas por dia. Lagoas de lodo facultativas, com área superior a 2,8 ha, necessitam ser colocadas fora de uso quando existe a operação de remoção de lodo.

Os agitadores tipo escova, de eixo horizontal, têm sido utilizados para limitar a agitação à camada superior das lagoas de lodo facultativas. São utilizados dois agitadores para cada lagoa, para garantir maior eficiência na dissipação da película superficial nas áreas da lagoa, onde os ventos predominantes ocasionam maior depósito de espuma da alimentação diária.

**Limitações de Dimensões e "Layout"** — As lagoas de lodo facultativas têm sido projetadas, normalmente, com o objetivo de estocagem de lodo por períodos longos e sua posterior remoção. Nestes casos, o tamanho das lagoas é normalmente determinado pelo número de lagoas necessárias para garantir uma área superficial adequada, enquanto o lodo é removido de uma lagoa. Se o lodo removido for reutilizado, várias "lagoas de espera" são necessárias para se manter lagoas totalmente fora de serviço, por dois a três anos, para a eliminação de organismos patogênicos. A máxima área para uma lagoa é ainda arbitrária, mas é baseada nas dimensões mais práticas para alimentação, agitação superficial, mistura e necessidade de remoção de lodo. Lagoas com grande área individual (1,6 a 2,8 ha) seriam aplicáveis apenas a sistemas de lagoas de lodo facultativas com área total superior a 28 ha. Lagoas de lodo facultativas pequenas, com 46 m de lado, vêm sendo operadas com sucesso.

Para os casos onde se pretende a remoção do lodo, a profundidade das lagoas é limitada pelas limitações práticas das dragas disponíveis no mercado, com eficiência comprovada na remoção de sólidos de esgotos abaixo da superfície líquida.

Lagoas de lodo facultativas normalmente são projetadas para ter pequenas larguras e grandes comprimentos, com a menor dimensão paralela à direção predominante dos ventos, de modo a minimizar o problema de erosão pelas ondas. O lado mais longo é utilizado para deslocamento das dragas de remoção de lodo.

Quando a área total das lagoas de lodo excede 16,2 ha, o efeito poten-

cial cumulativo de emissão de maus odores para a vizinhança deve merecer atenção especial.

As experiências, realizadas em Sacramento, também determinaram que, baterias de lagoas de lodo facultativas, com área total superior a 20 a 24 ha, apresentam grande possibilidade de se ter o transporte de maus odores para a vizinhança das lagoas.

**Considerações Físicas** — A da saída do sobrenadante é localizada a montante em relação ao sentido dos ventos predominantes, de modo a minimizar o acúmulo de espuma à sua vizinhança. O sobrenadante das lagoas de lodo facultativas precipitará fosfato de magnésio e amônia ("struvite") em qualquer superfície rugosa não completamente submersa. Este material cristalino pode obstruir completamente acessórios do ferro fundido e válvulas e bombas, quando a superfície é submetida a ciclos de esvaziamento e enchimento, ou quando a sua operação resulta na presença de ar difuso. A precaução mais prática para eliminar, com sucesso, esse problema tem sido o uso de tubulação de PVC para o fluxo do sobrenadante das lagoas e projetar o sistema para retornar ao início do sistema de tratamento de esgotos por gravidade com um mínimo de condições de profundidade crítica. Se o o bombeamento for necessário, bombas centrifugas de baixa velocidade, não obstruíveis, com baixas velocidades de sucção e descarga (para minimizar cativação) serão as melhores soluções. Todos equipamentos que não possam ser de PVC ou outro material não metálico liso, deveriam ser revestidos por material não sujeito a deposição do fosfato de magnésio e amônia.

Em geral, pelo menos duas linhas de alimentação de lodo são necessárias, cada uma com a sua válvula automática, para assegurar distribuição adequada dos sólidos no volume total da lagoa. Agitadores superficiais são localizados a jusante da entrada de lodo, tendo por base o sentido do vento predominante. As inclinações dos diques das lagoas são em geral 3 horizontais para 1 horizontal, com utilização de **rip-rap** na faixa de operação do nível de água. Altura livre entre o nível de água e o topo dos diques deve ser suficiente para evitar qualquer transbordamento de líquido por sobre os diques. As linhas de alimentação de lodo digerido devem ser localizadas diretamente abaixo do fundo das lagoas, com uma proteção de concreto nos pontos de alimentação.

## CONSIDERAÇÕES OPERACIONAIS

As considerações operacionais podem ser divididas em três categorias — a alimentação ou colocação do lodo dentro das lagoas; a rotina de operação e a remoção dos sólidos, quando efetuadas.

● **Partida e Alimentação** — Lagoas

de lodos facultativas deveriam ser inicialmente cheias com efluentes da estação de tratamento. Esse efluente deverá ter um período de detenção de três a seis semanas, para o desenvolvimento de uma camada aeróbia na superfície, antes da introdução do lodo digerido. Todas as lagoas de lodo devem ser alimentadas diariamente, com a carga distribuída proporcionalmente entre as lagoas, em função da área superficial de cada uma. A carga de aplicação superficial de sólidos voláteis deve ser mantida abaixo de 1000 kgSV/ha x dia, como média anual, onde o inverno é bem caracterizado. Como já foi referido anteriormente, existe uma considerável flexibilidade na taxa superficial de aplicação de sólidos voláteis a ser utilizada para as lagoas de lodo facultativas. O valor de C, pode variar de dia para dia, e a alimentação descontinua ou intermitente de uma vez cada quatro dias ou menos é aceitável. Cargas de choque como as causadas por limpeza de digestores devem ser distribuídas para todas as lagoas em operação. Lagoas de lodo facultativas devem ser alimentadas durante período com condições atmosféricas favoráveis de dispersão de odor, particularmente logo acima da superfície do solo, para maximizar a dispersão do odor. De preferência a alimentação deve ser em horas em que se tem boa insolação após a alimentação.

● **Rotina Diária** — Os agitadores de superfície devem operar por um período de 6 a 12 horas por dia. A operação dos agitadores não deve coincidir com o período de alimentação das lagoas e deve sempre ser durante as horas de mínima exposição humana (normalmente entre meia-noite e 5 horas) e durante período de condições atmosféricas favoráveis. O retorno do sobrenadante das lagoas de lodo facultativas para a estação de tratamento de esgotos deve ser regularizado para minimizar as cargas de choque de amônia. A vazão de retorno do sobrenadante necessita ser monitorada de modo a se poder determinar o impacto potencial desse sobrenadante no tratamento dos esgotos. O nível do manto de lodo não deve ultrapassar 0,6 m da superfície de água.

● **Remoção do Lodo** — As lagoas de lodo facultativas, que terão remoção posterior do lodo, deverão sair de operação rotineira pelo menos 30 dias antes do início da remoção dos sólidos.

Para o uso dos lodos removidos, com segurança em relação aos organismos patogênicos, é recomendável que a alimentação da lagoa pare dois ou três anos antes do início da operação de remoção. A remoção do lodo deveria ser limitada àquelas lagoas, cujas concentrações de sólidos tenham atingido de 6 a 8%. Durante a operação de remoção do lodo das lagoas facultativas de lodo, o nível da superfície de água não deve cair mais do

que 0,30 a 0,45 m abaixo do seu nível normal de operação.

### CONSUMO DE ENERGIA

As necessidades de energia das lagoas de lodo facultativas são relativamente pequenas porque essas lagoas utilizam energia solar, necessária para a fotossíntese das algas. Por outro lado, as algas fornecem o oxigênio dissolvido de modo a manter a atividade bacteriana aeróbia na camada superior da lagoa. A única necessidade de energia externa, utilizada normalmente na operação das lagoas de lodo facultativas, é para agitação superficial, bombeamento e tratamento do sobrenadante e alimentação e remoção do lodo. Para os 50,2 ha de lagoas de Sacramento, foi recentemente calculado em  $9260 \times 10^3$  kW por ano o consumo de energia, para o ano de 1990, quando as lagoas de lodo facultativas estiverem totalmente carregadas. Como a carga de aplicação do lodo é baseada em área, o consumo de energia será de 185 kWh/ha x ano.

Com um máximo de controle das fontes de mau odor e medidas de redução de seu transporte, o uso de energia aumentará para 210 kWh/ha x ano.

Como não existe a utilização de produtos químicos e nem de grandes estruturas, todos os consumos de energia são diretos, não existindo impactos secundários de energia.

### DADOS DE DESEMPENHO DE LAGOAS DE LODO FACULTATIVAS

Os dados de desempenho de lagoas de lodo facultativas aqui apresentados são todos relativos à operação de oito lagoas da Estação de Tratamento de Esgotos — Central de Sacramento. Embora esta estação seja projetada para 1,1 m<sup>3</sup>/s de esgotos, com decantação primária e lodos ativados, ela recebe também os sólidos de outras três estações de tratamento, a nível secundário, localizadas a montante. A Estação Central de Sacramento trata todos os sólidos aí gerados e mais das outras três referidas, cuja quantidade de sólidos é consideravelmente maior que os seus próprios sólidos. Os lodos das três estações de montante são transportados para a Central de Sacramento pelo seu sistema de transporte de esgotos. A ETE Central recebe ainda uma substancial carga de sólidos, de até 35% de sobrecarga diária, de uma indústria de enlatados que opera sazonalmente.

A Tabela 1 apresenta dados de taxa superficial de aplicação de sólidos voláteis, durante o período de 1975-1978.

A Figura 2 resume os dados típicos da camada superficial de quatro das lagoas de lodo facultativas para o período de julho de 1977 a junho de 1978. Embora faltem alguns dados relativos à turbidez e contagem de algas, a ten-

Tabela 1 — Redução de sólidos voláteis nos digestores, quantidades de lodos digeridos e taxa superficial de aplicação de sólidos voláteis (C<sub>s</sub>) para as lagoas de lodo facultativas — ETE — Central, Sacramento, Califórnia

Ano	Redução de SV nos Digestores %	Lodo Digerido para as Lagoas			C <sub>s</sub> (média anual) kgSV/ha x dia
		Média Anual 10 <sup>3</sup> kg/dia (peso seco)	% de Voláteis	ST %	
1975	52	20,0	63	1,7	1130
1976	50	16,3	67	1,6	800
1977	51	20,0	68	1,6	860
1978	45	23,9	66	1,6	1040

Fonte: Ref. 7.7

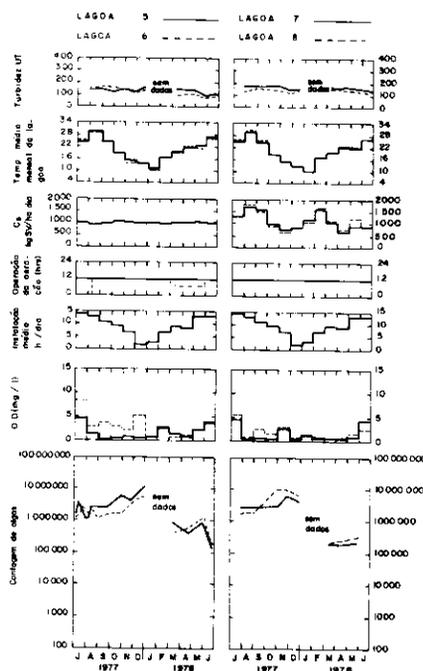


Fig. 2 — Lagoas de lodo de Sacramento: dados de monitoramento da camada superficial das lagoas 5 a 8.

dência do comportamento sazonal é razoavelmente aparente. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados de projeto das lagoas de lodo facultativas e apresenta as informações necessárias para o entendimento dos dados sobre sólidos apresentados na Tabela 3. Os dados da Tabela 3 permitiram calcular a redução de sólidos voláteis, que alcançaram 42%.

Os perfis dos sólidos são tomados a cada três meses. A qualidade do sobrenadante das lagoas, retornado ao início do tratamento de esgotos para 1978 é apresentado na Tabela 4, dados relativos aos minerais, metais pesados e hidrocarbonetos clorados para o lodo digerido, o lodo da lagoa e o lodo removido, para o ano de 1977 são apresentados na Tabela 5. Enquanto a condutância específica no sobrenadante se mantém a (250 a 4300 mhos/cm), o sobrenadante contém muito pouco de metais pesados. As chuvas aumentam a quantidade de sobrenadante e diminuem as suas concentrações. A condutividade específica no inverno sempre diminuiu em Sacramento após chuvas significativas.

Tabela 2 — Lagoas de lodo de Sacramento, Califórnia, USA — Dados gerais

Lagoa	Início da Operação	Profundidade Útil m	Área Superficial ha	Volume Abaixo do Nível de Lodo Máximo m <sup>3</sup>	Capacidade de Carga* das Lagoas KgSV/dia
1	7/73	3,4	1,52	29180	1520
2	8/73	3,4	1,52	29180	1520
3	9/74	4,3	2,27	60520	2270
4	11/74	4,3	2,13	56160	2130
5	8/76	4,6	1,90	52420	1900
6	8/76	4,6	1,90	52420	1900
7	11/75	4,6	2,51	76150	2510
8	11/75	4,6	2,51	76150	2510

\* Baseada em C<sub>s</sub> = 1000 kgSV/ha x dia

Fonte: Ref. 7.7

**Tabela 3 — Lagoas de lodo de Sacramento — Lodo digerido adicionado e lodo estocado — Tonelada de lodo — Peso seco**

Parâmetro	Lagoa 1		Lagoa 2		Lagoa 3		Lagoa 4		Lagoa 5		Lagoa 6		Lagoa 7		Lagoa 8		Total	
	ST	SV	ST	SV														
Lodo digerido adicionado (a)	3.925	2.690	4.580	2.995	5.398	3.416	5.801	3.596	2.222	1.461	2.211	1.454	3.486	2.317	3.275	2.177	30.898	20.106
Lodo estocado (b)	1.973	860	3.009	1.629	2.950	1.721	3.845	2.092	1.459	816	1.173	719	3.782	2.214	3.208	1.676	21.399	11.727

(a) Inclui os lodos: 1) Adicionado às lagoas  
2) Removido e aplicado no terreno, sendo - 1974 → 1255 ton peso seco  
1975 → 1688 ton peso seco  
1976 → 976 ton peso seco  
1977 → 1930 ton peso seco

3) Transferido entre as lagoas, desde o início da operação

(b) Quantidades calculadas baseadas nos resultados da amostragem de lodo de 12 de julho de 1978.

(Fonte: Ref. 7.7)

**Tabela 4 — Lagoas de lodo de Sacramento — qualidade do sobrenadante das lagoas facultativas**

PARÂMETRO	10.5.78	10.6.78	10.7.78	10.11.78	10.30.78	12.20.78	MÉDIA
DBO (mg/L)	140	140	140	96	200	110	143
PO <sub>4</sub> TOTAL (mg/L)	51	50	66	120	110	80	79
SULFETOS (mg/L)	0	0	0	0	0	0	-
DQO (mg/L)	-	-	-	910	960	874	935
TKN (mg/L)	-	-	-	220	360	394	290
PH	-	-	-	7.7	7.7	7.8	7.7
SS (mg/L)	-	-	-	470	420	728	445
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	-	-	-	-	300	335	300

(Fonte: Ref. 7.7)

**Tabela 5 — Lagoas de lodo de Sacramento. Comparação dos dados analíticos de lodo digerido e lodo estocado**

Parâmetro	Lodo Digerido (a)	Lodo estocado (a)								Lodo Removido (a)	
		Lagoa 1	Lagoa 2	Lagoa 3	Lagoa 4	Lagoa 5	Lagoa 6	Lagoa 7	Lagoa 8		
<b>mg/L</b>											
Alcalinidade	2.556	2.633	2.676	2.638	2.348	1.940	1.687	2.239	2.175	2.069	
Clorretos	143	178	225	204	209	169	166	171	186	171	
Amônia	444	685	765	751	649	502	452	613	600	573	
Fósforo Solúvel (P)	65	44	38	49	33	28	50	51	49	45	
Sulfatos	38	87	97	91	113	73	77	68	49	151	
<b>% Sólidos Secos</b>											
P. Total	1.8	2.0	1.9	1.7	1.8	1.4	1.6	1.6	1.4	1.9	
N. Total	8.7	5.1	5.2	5.2	4.1	5.4	6.2	5.8	5.1	5.9	
<b>ppm Sólidos Secos</b>											
Ca	21.000	27.000	25.000	21.000	28.000	28.000	24.000	26.000	21.000	24.000	
Mg	5.800	8.200	7.900	7.900	6.300	5.500	5.300	6.900	3.500	8.600	
K	5.500	3.200	3.900	3.800	2.900	2.600	3.000	3.10	3.200	4.500	
Na	9.200	3.100	3.450	3.500	3.300	4.100	5.600	4.600	4.200	5.400	
As	47	75	72	89	101	22	28	82	62	15.4	
Be	< 2,2	< 1,1	< 1,1	< 1,0	< 1,1	< 1,4	< 1,5	< 1,0	< 1,2	< 1,3	
Cd	12	24	26	19	16	14	18	21	17	19	
Cr	165	218	245	224	245	173	220	278	188	181	
Cu	340	410	398	385	721	400	477	456	353	384	
Pb	185	134	123	96	134	116	183	153	121	159	
Hg	3,7	5,3	5,1	5,3	5,2	5,0	5,8	5,8	4,2	5,6	
Mo	< 22	< 13,4	< 16	< 14	< 12,5	< 13,7	< 15,4	< 12,2	< 11,8	< 13	
Ni	63	58	72	70	115	46	48	60	53	77	
Sa	1,6	1,7	1,4	1,6	1,4	4,1	3,2	2,6	1,4	5,6	
Ag	28	26	26	26	23	34	38	35	27	28	
Zn	930	1.000	1.500	1.300	1.325	1.207	1.400	1.400	1.090	1.200	
PCB 1242	-	< 2,48	< 3,1	< 2,9	< 2,6	< 2,3	< 2,6	< 3,0	< 3,0	< 2,1	
PCB 1254	-	5,5	5,3	4,0	6,8	4,7	3,8	6,6	3,3	4,6	
Tech clordano	-	3,8	4,0	3,6	4,0	3,9	4,2	5,9	3,8	5,0	
Outros pesticidas	-	0,30	0,27	0,25	0,22	0,25	0,25	0,27	0,23	< 0,7	
<b>Unidades Anotadas</b>											
Cd/Zn (Z)	1,3	1,4	1,7	1,5	1,0	1,8	1,3	1,5	1,5	1,5	
ST (X)	1,7	7,0	6,3	6,1	7,6	4,7	3,4	4,8	5,7	4,1	
SV/ST (Z)	68	55	55	53	52	60	62	61	52	54	
pH	7,5	7,3	7,3	7,3	7,3	7,2	7,4	7,3	7,3	7,4	
Condutância específica (u mhos/cm)	4.742	5.109	5.847	5.743	4.914	4.434	4.093	5.061	4.760	4.731	

(a) - Valores são médias das amostras coletadas em 1977.

Fonte: Ref. 7.7

**IMPACTOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE PÚBLICA**

Durante os cinco anos de estudos desenvolvidos nas lagoas de lodo facultativas de Sacramento foram observados os impactos ambientais insignificantes conforme segue:

- Nenhum impacto relativo a vetores;
- Nenhum impacto sobre as águas subterrâneas;
- Impactos relativos a patogênicos controláveis;
- Impactos relativos a mau odor aceitáveis.

**IMPACTOS RELATIVOS A VETORES**

Roedores e moscas aparentemente não se desenvolveram à volta das lagoas de lodo em cinco anos de estudo. O controle da espuma é obviamente a chave para a eliminação desse problema.

**IMPACTOS SOBRE A ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Não existiu qualquer contaminação da água subterrânea. Poços de monitoramento abertos a volta dos 16,2 ha de lagoas de lodo de Sacramento são amostrados mensalmente e nunca apresentaram qualquer indicação de contaminação das águas subterrâneas, causado pela lagoa de lodo. Testes realizados mostraram que o lodo que sedimenta no fundo da lagoa isola, rápida e efetivamente, o conteúdo das lagoas, dos solos a sua volta. Amostras são destrutivas de solos, tomados do fundo de uma das lagoas, com período de operação entre um e dois anos e de outra com período de operação entre quatro e cinco anos confirmam que o conteúdo das lagoas de lodo facultativas tem uma penetração limitada dentro do solo circundante das lagoas.

Esses estudos indicam que o isolamento das lagoas de lodo facultativas é uma combinação da obstrução dos poros do solo pelos materiais em suspensão e coloidais do lodo e a formação de um material do tipo mucoso que cria uma membrana impermeável entre o lodo estocado e a camada do solo, ao fundo da lagoa. Solos arenosos requerem tempos mais longos do que solos argilosos para se tornarem impermeáveis, porém ambos se tornam completamente impermeáveis dentro de dois a três meses. Os revestimentos de fundo e das laterais, com material pouco permeável, normalmente utilizados em lagoas de tratamento de esgoto ou lodos, praticamente asseguram que, desde o início da operação, não se tem infiltração de esgoto ou lodo pelo terreno, durante o período de formação da camada isolante natural.

**IMPACTOS RELATIVOS A ORGANISMOS PATOGENICOS**

Tem sido reconhecido há muito tempo que a detenção de líquidos por longos anos reduz significativamente os microorganismos patogênicos contidos no lodo. Os estudos realizados em Sacramento confirmam isso para as bactérias mais comuns. A Figura 3 indica que a população de coliformes fecais conforme o lodo passa através das diversas fases de tratamento e estocagem. Estudos de protozoários parasitas e seus cistos, helmintos e seus ovos, e vírus não foram conclusivos, porque foram encontrados em número insuficiente e porque as técnicas necessárias para uma reprodutibilidade razoável dos resultados não eram disponíveis para o projeto. Investigações futu-

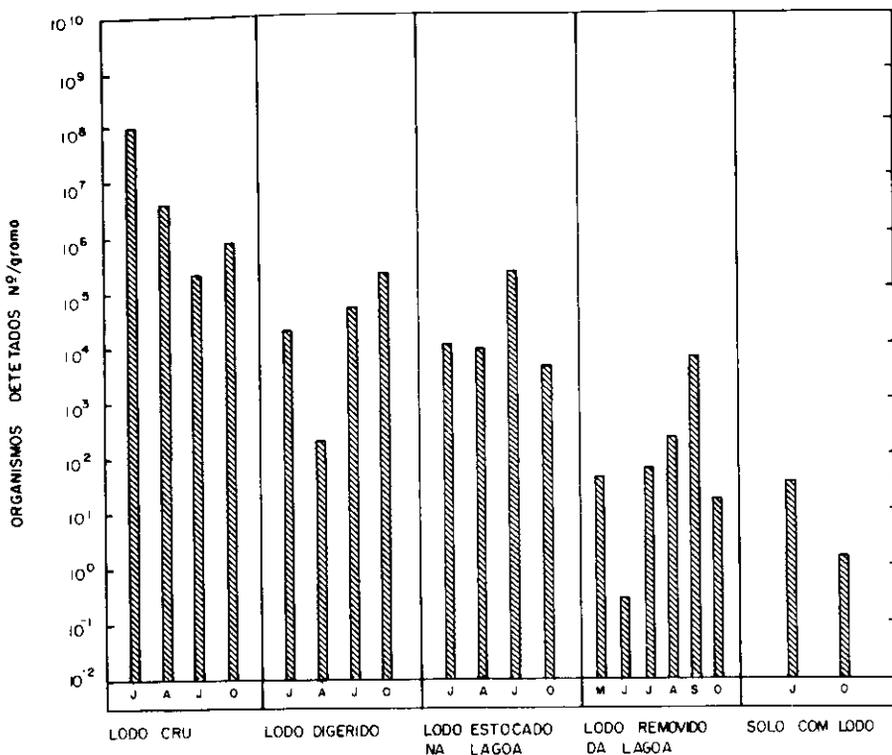


Figura 3 — Lagoas de lodo de Sacramento. Contagem de coliformes fecais para diferentes condições do lodo

ras sobre o assunto foram consideradas necessárias.

### IMPACTOS RELATIVOS A ODOR

Os impactos relativos ao odor crescem em proporção direta com a área superficial das lagoas de lodo facultativas. Na maioria das pequenas estações (aquelas com lagoas de lodo com áreas inferiores a 16,2 ha), controlando-se a taxa de aplicação superficial de aplicação de sólidos voláteis, usando-se adequada agitação superficial, tendo uma área tampão suficiente e selecionando cuidadosamente os períodos de alimentação e de funcionamento dos agitadores superficiais, ter-se-ão níveis aceitáveis de riscos de mau odor. Nenhuma tecnologia sofisticada para atenuação tem sido requerida para manter em Sacramento, um nível de risco aceitável. Para lagoas de lodo facultativas ocupando áreas maiores, medidas adicionais de controle de odor, poderão ser necessárias. Essas medidas deveriam incluir a instalação de um digestor de mistura, de modo a não permitir a entrada, de lodo cru de curto circuito no digestor, nas lagoas; vaporização a vácuo para remover odor presente no lodo digerido, antes de sua descarga nas lagoas, separação de bacterias de lagoas de lodo facultativas, construção de barreiras especiais altas (3,7 m), a volta das lagoas, para assegurar a máxima dispersão do odor quando se têm ventos de pequena intensidade, e o uso de "máquinas de vento" para auxiliar na dispersão dos odores, quando a atmosfera é calma.

Os odores das lagoas de lodo facultativas de Sacramento, com 16,2 ha de área útil, têm-se apresentado completamente aceitáveis. Uma análise dos

riscos de odor anual esperados para os 50,2 ha de lagoas de lodo facultativas, a serem construídas para a nova Estação Regional de Sacramento, concluiu que, com a completa implantação de medidas de controle, a incidência de níveis de odor que possam provocar queixas, nas proximidades das lagoas (600 a 1.500 m na direção do vento), será menor que uma vez em cada dois anos, independentemente da direção do vento, e uma vez em cada sete anos para a pior direção específica. Este nível de risco de odor foi considerado aceitável em uma pesquisa pública sobre impacto ambiental.

### 3. LAGOAS DE LODO ANAERÓBIAS

Muitas dessas lagoas estão sendo operadas nos USA. Um sistema que tem coletado dados significativos é o do Distrito Sanitário Metropolitano da Grande Chicago (MSDGC) dentro do Plano de Recuperação de Terras de Planície, em Fulton, Illinois.

As lagoas de lodo anaeróbias desse sistema, em número de quatro, com

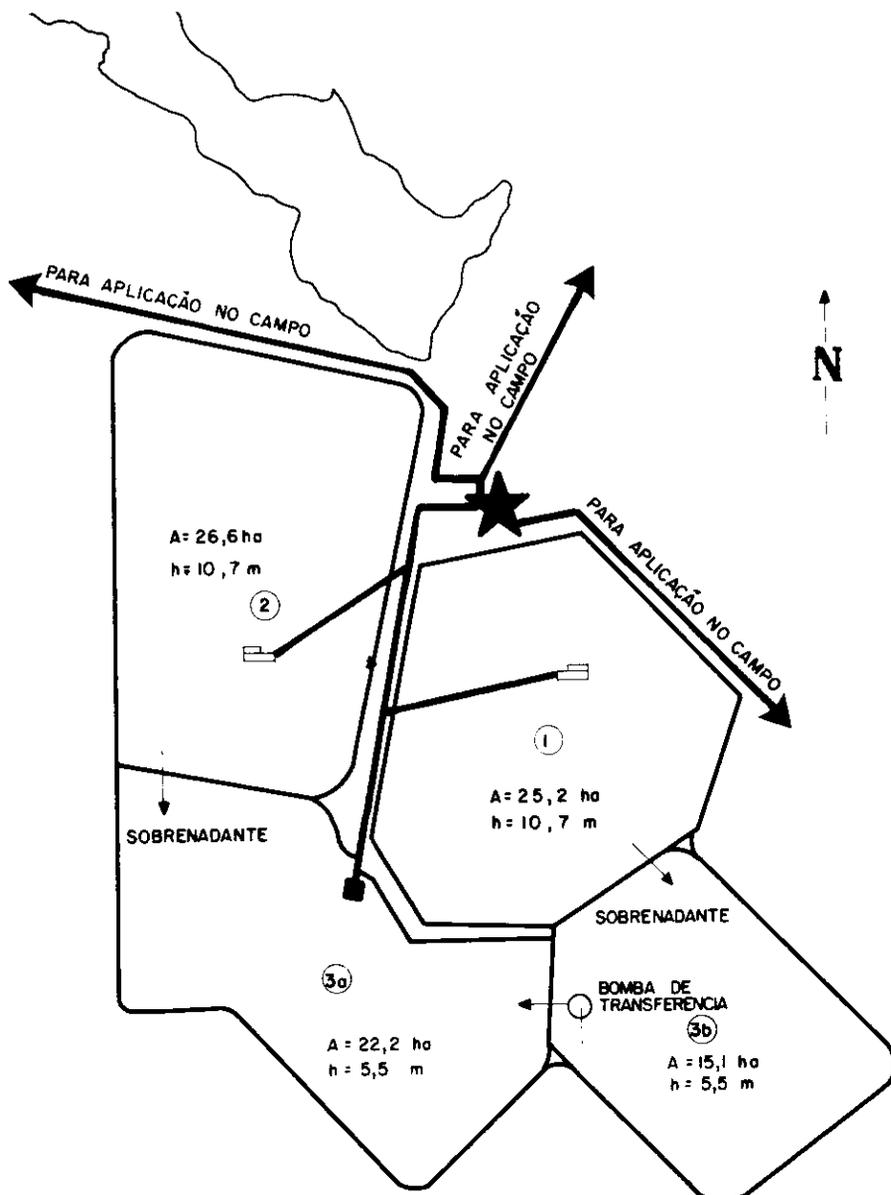


Figura 4 — Esquema do sistema de lagoas anaeróbicas de lodo e de tratamento do sobrenadante destas, do Distrito Sanitário Metropolitano da Grande Chicago

uma área de 89,1 ha, têm o seu layout apresentado na Figura 4. A lagoa 1 entrou em operação em 1971, a lagoa 2 em 1972 e as lagoas 3a e 3b em 1973. As lagoas 1 e 2 têm uma profundidade média de 10,7 m  $\pm$  0,3 m, enquanto as lagoas 3a e 3b apresentam profundidade de 5,5 m. As lagoas 3a e 3b são mais utilizadas para estocagem e tratamento do sobrenadante. O lodo, anaerobicamente digerido, proveniente da estação de tratamento de esgotos por lodos ativados, de Chicago, eram encaminhados, por barcaças, para as lagoas 1 e 2 de Fulton durante o ano, quando as condições de navegação do rio eram possíveis, a uma frequência de aproximadamente vinte dia por mês. A carga lançada nas lagoas variou de 59000 a 86200 toneladas de sólidos em peso seco, por ano. Baseado na carga total de sólidos recebido pelas lagoas 1 e 2, e o conteúdo volátil dos sólidos de 57%, a taxa de aplicação superficial de sólidos voláteis (C.) variou de 1700 a 2400 kg SV/ha x dia. Este valor de C, é consideravelmente maior do que os 1000 kg SV/ha x dia estabelecidos pelos trabalhos de Sacramento, para se ter lagoas facultativas. Se fosse considerada a área total das quatro lagoas, então o valor de C, cairia para 1000 a 1450 kgs SV/ha x dia, que é próximo ao indicado para lagoas de lodo facultativas.

A concentração do lodo digerido, bombeado das barcaças para as lagoas 1 e 2 de Fulton, variou de 4% a 6% em peso. Posteriormente, os lodos bombeados das lagoas para os campos em 1978, variou de 3,57 a 5,93% em peso. A quantidade média anual de lodo removido é de 54000 toneladas. O valor médio do conteúdo de sólidos voláteis, do lodo removido em 1978, foi de 47,5%. Se o conteúdo de sólidos voláteis do lodo digerido embarcado é de 57%, então as lagoas de lodo apresentam uma redução de sólidos voláteis de 17%. Os dados relativos ao lodo removido, em 1978, são apresentados na Tabela 6. A remoção de lodo, normalmente é feita durante aproximadamente 115 dias, entre 1.º de maio e 15 de novembro.

O sobrenadante final das lagoas de Fulton é disposto em uma área de 534,2 ha onde existe cultura de alfafa. A quantidade média anual do sobrenadante é de 634900 m<sup>3</sup>, com um conteúdo médio de amônia de 109,9 mg/l e uma média nitrogênio Kjeldahl total de 156,4 mg/l. A Tabela 7 apresenta dados complementares de sobrenadante final das lagoas. As medidas de O.D. das lagoas 3a e 3b, durante o verão e outono de 1977, indicam que o O.D. da superfície variou de 0,9 mg/l, enquanto que o O.D. do fundo das duas lagoas esteve entre 0,4 mg/l e 2,6 mg/l (as lagoas 3a e 3b têm profundidade de 5,5 m). Durante esse período, a temperatura mínima foi de 15,5°C. A residência mais próxima das lagoas dista 1800 m de perímetro da instalação. Não exis-

Tabela 6 — Lodo removido das lagoas anaeróbias de lodo do Distrito Sanitário Metropolitano da Grande Chicago — Período 1978

PARÂMETRO	Mínimo mg/l*	Máximo mg/l*	Média mg/l*	Conteúdo Médio Kg/ton. sol. seco
pH, (unidades de pH)	7.2	7.9	-	-
P - Total	900	2,960	1,416	29.8
N Kjeldahl total	1,276	2,905	2,329	49.1
N-NH <sub>3</sub>	772	1,338	1,046	22.0
Alcalinidade	1,640	5,750	3,630	76.5
Cl	228	752	388	8.2
Fe	1,000	2,900	1,938	40.8
Zn	87	231	171	3.6
Cu	44.8	124	81.6	1.72
Ni	9	22	18	0.38
Mn	8.5	28.3	18.0	0.38
K	80	200	166	3.50
Na	30	120	88	1.85
Mg	80	810	450	9.45
Ca	710	1,800	1,185	24.9
Pb	25.9	54.5	42.1	0.89
Cr	90.6	513	175	3.69
Cd	7.5	20.2	13.2	0.278
Al	340	900	679	14.3
Hg	0.132	1.920	0.417	0,009
Sólidos Totais (%)	3.57	5.93	4.75	1,000
Sólidos Voláteis Totais (%)	43.5	50.0	47.5	475

\* em mg/l, exceto quando especificado

Tabela 7 — Características do sobrenadante das lagoas de tratamento dos líquidos, das lagoas de lodo anaeróbia, do Distrito Sanitário Metropolitano da Grande Chicago

Parâmetros	Valor Médio (mg/l)	Faixa de Variação (mg/l)
DBO - total	170	28 - 466
DBO - solúvel	62	20 - 114
DQO - total	951	325 - 2,120
DQO - solúvel	695	328 - 1,026
SST	276	52 - 1,041

(Fonte: Ref. 7.7)

tem informações sobre o desenvolvimento de maus odores nessas lagoas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS DE BARUERI PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS LODOS DIGERIDOS DA ETE-BARUERI

##### — CARACTERÍSTICAS DAS LAGOAS BARUERI

As lagoas de Barueri estão localizadas bastante próximas à ETE-Barueri e são atualmente utilizadas para extração de areia. Originalmente, essas lagoas eram parte do canal principal do rio Tietê, antes de sua retificação.

A área total do sistema de lagoas, inicialmente prevista para receber os lodos digeridos, é de cerca de 60 ha, que deveria ser dividida em três compartimentos separados através de barragens de terra. A área a ser utilizada inicialmente seria a maior delas, com uma área superficial de 33 ha e um volume de 5.600.000 m<sup>3</sup>. A profundidade das lagoas é muito variável e em alguns pontos é superior a 30 metros.

Em relação à qualidade atual das lagoas de Barueri, foram feitas duas amostragens, cujos resultados são apresentados na Tabela 8. Deve-se aqui ressaltar que estas amostragens foram feitas para se ter apenas uma idéia inicial da qualidade das águas dos lagos, sendo bastante incompleta para se tirar conclusões sobre o seu possível comportamento ao receber os lodos digeridos.

Das amostragens realizadas, chamou a atenção os seguintes pontos:

- o oxigênio dissolvido sempre foi bastante baixo ou nulo;
- não se observou um desenvolvimento significativo de algas nas lagoas;
- as amostras do fundo da lagoa apresentaram cheiro de gás sulfídrico, denotando a ocorrência de atividade anaeróbia, na fase ácida, no fundo da lagoa;
- o nível de matéria orgânica biodegradável sempre se mostrou bem baixo;
- o nível de nitrogênio Kjeldahl total sempre se apresentou bastante alto e o de nitratos sempre foi muito baixo, sendo possível que a nitrifi-

**Tabela 8 — Características das Águas da Lagoa Prevista para Disposição de Lodos Digeridos da ETE-Barueri**

PONTO DE AMOSTRAGEM	PROFUNDIDADE	TEMPERATURA °C	TURBIDEZ U.N.T.	pH	SS mg/l	SSV mg/l	SSNV mg/l	OD mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	N-AMONÍACAL mg/l	N-NITRATO mg/l	N-NITRITO mg/l	N-FOSFÁTICO mg/l	P-TOTAL mg/l	OBSERVAÇÕES
EM FRENTE AO DEPÓSITO DE LIXO	Superfície	22,0	-	6,3	58	4	54	0,4	2	24	-	-	-	7,1	0,165	
		23,5	35	6,5	23	7	16	1,7*	2	12	5,8	0,07	0,01	10,0	0,050	
	10,0 m	22,0	-	6,3	93	8	85	0,2	2	23	-	-	-	6,3	0,175	
		23,0	52	6,5	37	9	28	0,9*	1	26	8,6	0,07	0,01	9,0	0,060	
	20,0 m	22,0	-	6,4	147	19	128	0,2	2	22	-	-	-	6,4	0,180	Cheiro de gás sulfídrico
		23,0	65	6,6	49	15	34	1,3*	1	22	6,1	0,07	0,01	7,5	0,070	Cheiro de gás sulfídrico
EM FRENTE AOS GALPÕES DE CAFÉ DO IBC	Superfície	22,0	-	6,3	74	13	61	0,4	2	21	-	-	-	6,3	0,145	
		23,5	35	6,5	35	12	23	1,5*	1	28	6,6	0,07	0,01	9,0	0,060	
	8,0 m	22,0	-	6,4	73	12	61	0,2	3	21	-	-	-	6,4	0,160	
		23,0	51	6,6	38	17	21	0,4*	1	35	6,2	0,06	0,04	8,5	0,060	
	16,0 m	22,0	-	6,3	62	8	54	0,2	4	13	-	-	-	6,3	0,150	Cheiro de gás sulfídrico
		23,0	60	6,6	27	6	21	0,5*	1	32	5,8	0,07	0,01	10,0	0,075	Cheiro de gás sulfídrico
EM DIREÇÃO À RUA CORDEIRO DE AZEVEDO MARQUES - CARAPICUTIRA	Superfície	22,0	-	6,5	76	15	61	0,0	3	21	-	-	-	6,5	0,135	
		23,5	40	6,5	44	14	30	1,9*	1	16	5,3	0,07	0,01	8,0	0,050	
	10,5 m	22,0	-	6,5	76	5	71	0,0	4	19	-	-	-	6,7	0,165	
		23,0	34	6,5	20	10	10	0,7*	2	27	6,2	0,07	0,01	8,0	0,050	
	21,0 m	22,0	-	6,5	67	11	56	0,8	4	14	-	-	-	6,5	0,165	Cheiro de gás sulfídrico
		22,0	26	6,5	22	11	11	0,0*	3	41	7,2	0,04	0,005	11,0	0,060	Cheiro de gás sulfídrico
EM FRENTE À ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE CARAPICUTIRA.	Superfície	22,5	-	6,5	66	13	53	0,1	1	27	-	-	-	6,5	0,180	
		23,5	36	6,5	27	13	14	1,6*	2	31	6,1	0,05	0,01	9,5	0,050	
	7,0 m	22,0	-	6,5	71	12	59	0,1	4	28	-	-	-	6,5	0,185	
		23,0	40	6,5	28	15	13	0,2*	1	32	6,1	0,05	0,01	11,0	0,070	
	14,0 m	22,0	-	6,5	88	8	80	0,0	4	23	-	-	-	6,5	0,215	Cheiro de gás sulfídrico
		22,5	45	6,4	32	13	19	0,6*	4	32	5,7	0,07	0,01	9,0	0,090	Cheiro de gás sulfídrico

cação venha sendo inibida pela falta de oxigênio;

- a distribuição razoavelmente uniforme de todos os parâmetros e a não-existência de um gradiente de temperatura ao longo da profundidade, indicam que existe grande nível de mistura no lago, pelo menos durante a amostragem.

A praticamente ausência de oxigênio dissolvido e o não desenvolvimento significativo de algas no lago são fatores que preocupam bastante, quando se pensa em utilizar essas lagoas para disposição final de lodos digeridos.

A ausência de oxigênio dissolvido pode ser causada pela demanda do material sedimentado que é revolvido durante as operações de extração de areia. Note-se que as amostras do fundo apresentavam cheiro de gás sulfídrico. Ainda, algum outro material redutor poderia, eventualmente, estar presente.

Em relação às algas, é possível que exista algum nutriente, que seja limitante ao seu crescimento e ainda que a microfauna, que se alimenta de algas, sejam fatores que impeçam um maior desenvolvimento das algas.

De qualquer maneira, os pontos citados são apenas algumas das hipóteses possíveis e, um estudo completo sobre o assunto, com campanhas de monitoramento do lago e ensaios de laboratório são indispensáveis para se estimar o que poderá ocorrer na lagoa, após o início da descarga de lodo digerido na mesma.

**— TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CARGA ORGÂNICA (C.) NAS LAGOAS DE BARUERI**

A quantidade de lodo a ser produzida na primeira etapa de operação da

ETE-Barueri, para o tratamento de 7 m<sup>3</sup>/s de esgotos, está prevista em 97 toneladas de sólidos por dia ou ainda 61 toneladas de sólidos voláteis por dia.

Para uma área de lagoa de 33 ha/1 61 toneladas de sólidos voláteis por dia, a Taxa de Aplicação Superficial de Carga Orgânica será de C. 1.850 kgSV/ha x dia. Este valor é bem superior àquele obtido nas lagoas de lodo de Sacramento-Califórnia (C. = 1000 kg SV/ha x dia) para as lagoas funcionarem como facultativas, durante todo o ano. Embora as condições de temperatura e insolação para Barueri, durante o inverno, sejam mais favoráveis do que as de Sacramento, para a operação de lagoas de lodo facultativas, o valor esperado de C. = 1850 kgSV/ha x dia para as lagoas de Barueri deverá ser estudado em condições de campo. Esses estudos são absolutamente necessários para que se possa ter segurança de que a disposição final dos lodos digeridos em lagoas profundas não venha causar impactos na vizinhança, a ponto de comprometer, junto à opinião pública, toda uma estação de tratamento, projetada e construída com cuidados especiais para não se ter problemas de mau odor em sua vizinhança.

**— CONSIDERAÇÕES SOBRE ALGUNS ASPECTOS OPERACIONAIS E CONSTRUTIVOS RELACIONADOS ÀS LAGOAS DE LODO DE BARUERI.**

Se sobrecarregadas, as lagoas de lodo podem ser uma fonte de odor e outros problemas. As Taxas de Aplicação Superficial de Carga Orgânica deverá ser restrita a valores determinados em ensaios de campo e os pontos de descarga de lodo devem ser alterados de modo a permitir o "descan-

so" das áreas da lagoa. A retirada do sobrenadante da lagoa deve ser o mais distante possível do ponto de descarga de lodo, sendo portanto recomendável que se tenha múltiplos pontos de saída do efluente da lagoa. O sobrenadante da lagoa de lodo deverá ser retornado à estação de tratamento de esgotos juntamente com a espuma acumulada e removida da superfície da lagoa.

As instalações para remoção de espuma deverão ser localizadas nos pontos onde a espuma tenderá a se acumular pela ação dos ventos. A espuma acumulada poderá ser removida através de vertedores ajustáveis, localizados adequadamente na periferia da lagoa, possivelmente com o auxílio de um equipamento flutuante para movimentação da camada de espuma para os pontos de remoção.

Não se deve permitir o acúmulo de espuma na superfície da lagoa, uma vez que ela causará a produção de odores desagradáveis e limitará transferência de oxigênio. A periferia da lagoa deverá ser inclinada e os taludes limpos e protegidos da ação do vento e/ou espuma na superfície da lagoa, uma pelo uso de cobertura apropriada, tipo rip-rap.

A possibilidade de descarga do lodo em pontos diferentes pode ser conseguida pela utilização de um sistema de tubos flexíveis, que possam ser seccionados ou estendidos, sobre flutuadores ou barcas para selecionar o ponto de descarga na lagoa. A localização da descarga pode ser delimitada pela área de influência coberta por uma particular descarga diária. O lodo deve ser descarregado em fluxo descendente através do fundo da lagoa de modo a minimizar a resuspensão do lodo já depositado. As descargas de lodo na lagoa devem ser feitas de modo a pro-

picar uma distribuição do lodo pelo fundo da lagoa e, em hipótese alguma, depósito de lodo deverá atingir alturas que possam perturbar ou eliminar a manutenção da camada aeróbia da superfície.

As maiores depleções de oxigênio se verificarão durante o período mais quente e quando a reaeração e a atividade fotossintética forem mínimas. Os períodos críticos são normalmente à noite, quando existe o maior potencial para ocorrência de condições anaeróbias e problemas de odor. Soluções temporárias para os problemas de odor têm sido conseguidas na prática, pela adição de nitratos, pela utilização de aeração superficial e equipamentos de dissipação do odor. O método mais efetivo de controle de odor é limitar a taxa de aplicação superficial de carga orgânica e preservar a camada superficial aeróbia da lagoa durante todo o tempo.

Os líquidos sobrenadantes dos digestores anaeróbios que têm elevada demanda de oxigênio e concentração de nutrientes não devem ser descarregados diretamente nas lagoas, mas sim retornados à estação de tratamento. O excesso de nutrientes proporciona um excessivo crescimento de algas e outras plantas aquáticas dentro e na periferia da lagoa. Essas algas e plantas irão morrer e contribuirão para a formação de espuma e possíveis problemas de odor. A remoção rotineira de plantas e algas mortas, espuma ou vegetação, antes e durante a operação do

sistema de lagoas, é absolutamente necessária.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dos estudos realizados, baseados em experiências de outros países, pode-se concluir que as lagoas de lodo apresentam alto potencial para o desenvolvimento de odores desagradáveis se a sua operação não for adequada e se certos parâmetros, especialmente a taxa de aplicação superficial de matéria orgânica (C.), que deve ser determinada para cada caso, não forem respeitados.

De modo a se poder trabalhar com segurança, é absolutamente necessário que, para o caso de se definir pelo uso de lagoas de lodo, se desenvolvam trabalhos de pesquisa de campo e monitoramento das lagoas a serem utilizadas.

Para o caso de utilização das lagoas de Barueri para disposição de lodo, o monitoramento das lagoas deve determinar as características qualitativas de suas águas, particularmente com respeito à variação do OD ao longo do dia e os níveis de nutrientes. As causas dos baixos valores de OD observados no levantamento preliminar e o não desenvolvimento de quantidades significativas de algas deve ser pesquisado. Pesquisas de campo para a determinação do valor de C, adequado às condições ambientais locais deverão ser desenvolvidos pelo prazo mínimo de um ano. Estes estudos deverão simular a operação das lagoas de lodo

visando determinar os procedimentos para a aplicação do lodo, de modo a minimizar os problemas de odor e manter condições aeróbicas para toda a superfície da lagoa. Estes estudos poderão, também, ser utilizados como guia para a programação de descarga de lodo na lagoa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 7.1. Water Pollution Control Federation. **Manual of Practice No. 8, Wastewater Plant Design.** WPCA Washington, D. C. P. 57. 1977
- 7.2. Sacramento Area Consultants. **Sewage Sludge Management Program Final Report, Volume 7, Environmental Impact Report and Advanced Site Planning.** Sacramento Regional County Sanitation District. Sacramento, California 95814. September 1979.
- 7.3. Brown and Caldwell. **Joint Regional Wastewater and Solids Treatment Facility Project Design Report.** Moulton — Miguel Water District — Aliso Water Management Agency. March 1978.
- 7.4. Sacramento Area Consultants. **Sewage Sludge Management Program Final Report, Volume 2, SSB Operation and Performance.** Sacramento Regional County Sanitation District. Sacramento, California 95814. September 1979.
- 7.5. Sacramento Area Consultants. **Study of Wastewater Solids Processing and Disposal, Appendix C.** Sacramento Regional County Sanitation District. Sacramento, California 95814. June 1975.
- 7.6. Rimkus, R. R., J. M. Ryan, R. W. Dring. "A New Approach to Dewatering and Disposal of Lagooned Digested Sludge". **Proceeds of the Annual Convention, ASCE, Chicago, Illinois.** October, 1978.
- 7.7. USEPA. **Process Design Manual Publication Series — Sludge Treatment and Disposal — USEPA — Cincinnati, Ohio 45268.** September 1979.