



NORMA TÉCNICA

L1.009

Dez/1986
128 PÁGINAS

Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas:
manual técnico

RENOVADA

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP
Tel.: (11) 3133 3000 Fax.: (11) 3133 3402

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO - PROPÓSITO DO MANUAL.....	03
CAPÍTULO 1 - O PAPEL DOS RESPONSÁVEIS DIRETOS PELO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	04
CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRATAMENTO DE ESGOTOS...	06
CAPÍTULO 3 - O TRATAMENTO DE ESGOTOS ATRAVÉS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	17
CAPÍTULO 4 - LAGOAS ANAERÓBIAS.....	42
CAPÍTULO 5 - LAGOAS FACULTATIVAS.....	62
CAPÍTULO 6 - INÍCIO DE OPERAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	99
CAPÍTULO 7 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	107
CAPÍTULO 8 - PRINCIPAIS PROBLEMAS DE FUNCIONAMENTO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....	122
CAPÍTULO 9 - ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA E SEGURANÇA.....	141
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	144

INTRODUÇÃO

PROPÓSITO DO MANUAL

O objetivo deste manual é fornecer aos engenheiros e operadores das lagoas de estabilização de esgotos sanitários uma série de informações úteis que lhes permitam operar e manter, da forma mais correta, as lagoas anaeróbias e facultativas.

O manual foi planejado para incluir algumas funções, abrangendo:

- o papel dos responsáveis diretos pelos sistemas de tratamento de esgotos;
- considerações sobre tratamento de esgotos sanitários;
- as informações básicas sobre as lagoas anaeróbias e facultativas, sua teoria e dispositivos que deverão ser dominados pelos operadores desses sistemas;
- os problemas mais comuns que perturbam o funcionamento dessas lagoas de estabilização;
- as medidas corretivas para solucionar os problemas operacionais mais frequentes;
- a utilização das observações visuais e das investigações laboratoriais no controle das lagoas de estabilização;
- as atividades do dia-a-dia que devem ser seguidas para uma boa operação das lagoas e que podem ser adaptadas para uma lagoa em particular;
- os cuidados necessários para a correta manutenção das lagoas, sua segurança e conservação;
- elaboração de fichas para registros dos dados e informações que permitam aos responsáveis pelo sistema avaliar, em qualquer tempo, o andamento dos processos de tratamento.

Evidentemente, como a maioria das lagoas de estabilização possui peculiaridades próprias de projeto e obra, a informação do presente manual deverá ser utilizada como um guia na elaboração de manuais específicos de operação e manutenção e precisa ser criteriosamente adaptada a cada caso.

CAPÍTULO 1

O PAPEL DOS RESPONSÁVEIS DIRETOS PELO SISTEMA DE TRATAMENTO

Deve-se ter em mente que a operação de um sistema de tratamento de esgotos é o resultado de um trabalho conjunto de várias pessoas, sendo os mais diretamente envolvidos: o responsável pelo sistema e o operador.

No Brasil, o responsável pelo sistema pode ser a Prefeitura Municipal, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto local ou uma Companhia Estadual de Saneamento. A cada uma dessas entidades, compete construir o sistema de tratamento, obter recursos financeiros para a sua ampliação, responder pela supervisão geral da sua operação e desempenho da instalação e assegurar, em qualquer época, um efluente tratado que atenda às exigências do Órgão Estadual de Controle da Poluição da Água.

Cumpra a esses órgãos selecionar e treinar, de forma permanente, o operador da estação de tratamento de esgotos, supri-lo com todas as ferramentas e materiais que assegurem uma operação e manutenção eficientes.

O operador do sistema, funcionário contratado por essas entidades, é o responsável pela operação e manutenção adequadas e conscientes da instalação. A ele cabe manter as instalações civis, os equipamentos, o paisagismo da estação, assegurar a salubridade do ambiente de trabalho, proceder às observações rotineiras, os testes laboratoriais e aplicar seus resultados para controle operacional das lagoas de estabilização.

Ele deve notificar ao responsável pelo sistema a falta de materiais, equipamentos e ferramentas necessários para o bom desempenho das suas tarefas e mantê-lo informado, da maneira mais fácil, sobre os resultados alcançados no rendimento dos processos de tratamento.

Tem a responsabilidade de manter-se bem informado sobre a instalação e os processos empregados no tratamento. A ele deverá ser fornecida toda a oportunidade de treinamento junto aos Órgãos de Controle, firmas fornecedoras de equipamentos e universidades da comunidade local.

Da perfeita interação entre o empregador e o empregado é que se esperam o aumento da competência técnica e o bom desempenho do sistema de tratamento.

REVOGADA

CAPÍTULO 2

CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRATAMENTO DE ESGOTOS

2.1 O QUE É ESGOTO?

Esgoto é um termo usado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos das águas, tais como os de uso doméstico, comercial, industrial, agrícola, estabelecimentos públicos, infiltração de água na rede de esgotos, etc.

Resíduo líquido industrial é o esgoto resultante dos processos industriais e, dependendo do tipo de indústria, tem características muito diversas, o que implica em estudar cada tipo de despejo isoladamente. Os despejos de origem industrial não serão abordados neste manual.

Esgotos sanitários são os despejos líquidos constituídos de esgotos domésticos, esgotos industriais lançados na rede pública, água de infiltração e a parcela de contribuição pluvial parasitária julgada conveniente.

Água de infiltração é toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nos condutos de esgotos através de juntas defeituosas, tubos rompidos, paredes dos poços de visita.

Contribuição pluvial parasitária é a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário. Provém de ligações clandestinas de águas pluviais das economias e águas que penetram na rede coletora através dos orifícios dos tampões de visita.

Esgotos industriais lançados na rede pública são os resíduos líquidos industriais devidamente condicionados de modo a respeitar os padrões de lançamento estabelecidos.

Os esgotos domésticos, parcela mais significativa dos esgotos sanitários, provêm, principalmente, de residências e de edificações públicas e comerciais, que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Apesar de variarem em função dos costumes e condições sócio-econômicas das populações, os esgotos domésticos

têm características bem definidas pois por resultarem do uso da água pelo homem em seus hábitos higiênicos e necessidades fisiológicas, compõem-se, basicamente, das águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem.

É importante conhecer os esgotos sanitários sob dois aspectos: composição quantitativa e composição qualitativa.

2.1.1 Composição Quantitativa

A quantidade de esgoto sanitário produzido diariamente pode variar bastante de uma comunidade para outra, ou até dentro da mesma comunidade, em função de:

- hábitos e condições sócio-econômicas da população;
- existência de ligações clandestinas de águas pluviais na rede de esgoto;
- construção, estado de conservação e manutenção de redes de esgoto que implicam numa maior ou menor infiltração;
- clima;
- custo da água distribuída;
- medição da água distribuída;
- qualidade da água distribuída na rede de água;
- pressão na rede de distribuição de água e
- estado de conservação dos aparelhos sanitários e vazamentos de torneiras.

Com base nas poucas informações disponíveis, pode-se considerar que a contribuição de esgotos por habitante (incluída a infiltração) nas cidades interioranas do Estado de São Paulo varia de 90 a 210 litros por pessoa e por dia^(7,9), com predominância dos valores médios entre 130 - 170 l/hab.dia.

As taxas de infiltração, medidas recentemente em coletores mais novos de esgotos sanitários, têm variado de 0,025 l/s.km a 0,125 l/s.km⁽⁷⁾.

A PNB-567 propõe para projeto uma faixa de coeficiente de infiltração de 0,05 a 1,0 l/s.km, devendo o valor adotado ser justificado.

Para se ter uma idéia mais precisa das vazões médias diárias, anuais e das suas variações horárias ao longo do dia, deve-se, sempre que possível, medi-las durante 24 horas, em diferentes dias

da semana e épocas do ano, principalmente nas épocas secas e chuvasas.

Uma curva mostrando o comportamento das variações horárias dos esgotos sanitários de uma cidade é apresentada na Figura 2.1.

REVOGGADA

Observa-se que as vazões começam a aumentar paulatinamente à partir das 5 horas e atingem o seu ápice entre 10 e 14 horas. Após estes horários as vazões diminuem gradativamente, atingindo um outro pico entre as 17 e 20 horas.

Como, via de regra, as cidades interioranas não têm atividade noturna que justifique um grande consumo de água de abastecimento, o pico do período noturno é mais baixo do que aquele do período diurno. As mínimas vazões se registram no período das 23 às 5 horas.

2.1.2 Composição Qualitativa

Além das variações quantitativas, as características dos esgotos sanitários variam qualitativamente em função da composição da água de abastecimento e dos diversos usos dessa água.

De um modo geral, pode-se dizer que desde que não haja significativa contribuição de despejos industriais, os esgotos sanitários constituem-se, aproximadamente, de 99,9% de água e 0,1% de sólido, em peso seco. (Figura 2.2).

O líquido em si nada mais é que um meio de transporte das inúmeras substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos eliminados pelo homem em suas atividades diárias. Os sólidos, sim, são responsáveis pela deteriorização da qualidade do corpo d'água que recebe os esgotos e, portanto, o seu conhecimento é muito importante para o entendimento de qualquer sistema de tratamento de esgotos.

O número de diferentes substâncias que compõem os esgotos sanitários é tão grande que, mesmo que fosse possível, não faria sentido relacioná-las todas. Assim, para se caracterizar esses esgotos, utiliza-se de determinações físicas, químicas e biológicas, cujas grandezas (valores) permitem se conhecer o grau de poluição desses esgotos e, conseqüentemente, dimensionar e medir a eficiência das estações de tratamento de esgotos.

Os sólidos são normalmente medidos através da demanda de oxigênio que causam aos esgotos (DBO e DQO). Outros parâmetros importantes são os nutrientes, pelo efeito de eutrofização que podem causar nos corpos receptores, além de sua importância no próprio processo biológico de tratamento de esgotos (série nitrogenada e fósforo). Alguns exemplos de composição de esgotos sanitários são apresentados na Figura 2.3 e Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3.

TABELA 2.1 - Composição típica dos esgotos de alguns Municípios do Estado de São Paulo
(com exceção dos especificados, todos os valores estão expressos em mg/l)

PARÂMETROS	Bacia da APAE	Rancharia	Valinhos	Itapira	Conj. Res. Cidade	Conj.Hab. Jardim	Urânia
	Sta Fé do Sul (a)	(b)	(c)	(d)	Vista Verde S. J. dos Campos (e)	São Benedito Jacareí (f)	(g)
totais +	469	3662	863	316	513	855	359
ólvidos totais +	319	812	444	151	277	558	235
fixos	163	371	261	-	194	329	-
voláteis	156	441	183	-	83	229	-
ispensão totais +	150	2850	419	165	190	297	129
fixos	35	168	71	20	26	70	-
voláteis	115	2682	348	145	164	226	-
teis totais	271	3123	531	162	292	455	-
s totais	198	539	332	154	221	-	-
)	254	1500	270	187	301 ***	363	197
	466	2450	874	419	423 **	654	304
inio (como N-Total)	40	-	-	-	50,0 *	62,5	-
lico	9,5	70,4	14,4	24	26,2 *	-	-

ÍTEM							
oro (como P-total)	-	8,0		3,00			9,5
linidade (CaCO ₃)		280	174,9	-			-
s e graxas	-	947	125,0	1188			-
formas fecais/ 100 ml	4,8 x 10 ⁷	24 x 10 ⁷	-	2,3 x 10 ⁷			> 43 x 10 ⁷
	6,8 - 7,4	6,8	7,1	-		6,0 - 8,4 ***	6,4 - 7,5
o (l/s)	1,47			23,8		5,84	0,9

ia de 3 amostras compostas de 24 horas: 03.1982, 03.1983, 08.1983. A bacia esgotava aproximadamente 980 habitantes. N

11.83 (amostra composta de 12 horas); recebe efluente de abatedouro de bovinos (120 a 600 cabeças/dia); a bacia esgotava aproximadamente 100 habitantes (ou 80% da sede do município).

07.05.1980 (amostra composta de 24 horas); a bacia esgotava aproximadamente 23.000 habitantes.

05.07.1984 (amostra composta de 24 horas); a bacia esgotava aproximadamente 2.000 ligações.

27.08 a 03.09.1975 (amostras simples e compostas coletadas ininterruptamente durante o período).

14 e 15.09.1975 (amostras simples e compostas coletadas durante 24 horas).

os dois períodos anteriores.

* 31.07 e 03.10.1975 (com auxílio de linígrafo).

acia esgotava aproximadamente 3.500 habitantes

ia de 5 campanhas de amostragem de 24 horas: 12 e 13.03.1985; 27 e 28.03.1985; 15 e 16.04.1985; 20 e 21.05.1985; 03 e 04.06.1985. A

esgotava aproximadamente 1.000 habitantes.

1973 (amostra composta de 24 horas). A lagoa recebia os esgotos de aproximadamente 950 habitantes.

ecos a 103-105 °C

(a), (b), (c), (d), (f), (g) - CETESB

(e) - Ref. (8)

TABELA 2.2 - Características dos esgotos sanitários - contribuições unitárias de diversos parâmetros

PARÂMETRO	CONTRIBUIÇÃO UNITÁRIA
	Intervalo de valores de contribuições nos esgotos (g/per capita/dia)
DBO ₅	45 - 54
DQO	(1,6 a 1,9) x DBO ₅
sólidos totais	170 - 220
sólidos em suspensão	70 - 145
sólidos dissolvidos	50 - 150
areia (inorgânica 0,2 mm)	5 - 12
graxos	10 - 30
alcalinidade, como CaCO ₃	20 - 30
cloretos	4 - 8
nitrogênio total, como N	5 - 12
nitrogênio orgânico	(~ 0,4) x N - total
nitrogênio amoniacal	(~ 0,6) x N - total
nitrogênio nítrico	-
nitrogênio nitrato	-
fósforo total, como P	0,8 - 4,0
fósforo orgânico	(~ 0,3) x P - total
fósforo inorgânico (orto e poli-fosfato)	(~ 0,7) x P - total
Microrganismos presentes nos esgotos domésticos	(por 100 ml de esgotos)
total de bactérias	10 ⁹ - 10 ¹⁰ .
coliformes fecais	10 ⁶ - 10 ⁹
streptococci fecal	10 ⁵ - 10 ⁶
salmonella typhosa	10 ¹ - 10 ⁴
cistos de protozoários	> 10 ³
ovos de helmintos	> 10 ³
vírus	10 ² - 10 ⁴
Vazão, com infiltração (l/per capita/dia)	80 - 300

TABELA 2.3 - Características dos esgotos sanitários no Estado de São Paulo - contribuições unitárias de alguns parâmetros (exceto quando especificados, valores em g/per capita/dia)

PARÂMETRO	Alguns Municípios do Estado de São Paulo e Paraná	Conj. Res. Cidade Vista Verde S. J. dos Campos (c)	Bacia da APAE Santa Fé do Sul (d)
DBO ₅	40,0 - 56,8(a)	45	33
DQO	--	60	60
Nitrogênio total, como N	7,8 (b)	7,2	5,1
nitrogênio orgânico	-	3,8	1,2
nitrogênio amoniacal	-	3,4	3,9
Fósforo total, como P	1,6 (b)	0,9	-
Coliformes fecais (10 ¹⁰ NMP/per capita/dia)	6,3 ~ 18,1(a)	-	61
Vazão, com infiltração (l/per capita/dia)	100 - 211(a)	144	130
Sólidos totais *	-	73	61
Sólidos dissolvidos totais *	-	40	41
voláteis	-	12	20
fixos	-	28	21
Sólidos suspensos totais *	-	27	20
voláteis	-	23	15
fixos	-	04	05

Obs: (*) secos a 103 - 105°C

FONTE: (a) Ref. (9) atualizada por KAWAI, H.

(b) Ref. (21) atualizada por KAWAI, H.

(c) Ref. (8) - 32% dos habitantes trabalhavam fora pelo menos 8 horas por dia. Foi admitido um acréscimo de cerca de 15% na carga diária, como sendo correspondente à contribuição do período em que essa parcela da população está fora do conjunto, e chegou-se a 52 g DBO/hab.dia.

(d) CETESB - Considerando a população esgotada total da bacia.

Os esgotos sanitários contêm também inúmeros organismos vivos tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários que na sua maioria são liberados junto com os dejetos humanos. Alguns são de suma importância no tratamento das águas residuárias, uma vez que decompõem a matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis. Outros, entretanto, são causadores de doenças e são denominados de organismos patogênicos. A Tabela 2.4 ilustra as doenças causadas por alguns dos organismos patogênicos encontrados nos esgotos sanitários.

TABELA 2.4 - Organismos patogênicos encontrados nos esgotos domésticos

NOME DO ORGANISMO	TIPO	DOENÇA CAUSADA
Vírus da hepatite	vírus	hepatite
Vírus da poliomelite	vírus	poliomelite
<u>Salmonella typhi</u>	bactéria	febre tifóide
<u>Vibrio cholerae</u>	bactéria	cólera
<u>Salmonella spp</u>	bactéria	intoxicação alimentar
<u>Entamoeba histolytica</u>	protozoário	disenteria amebiana
<u>Ascaris lumbricoides</u>	verme	ascaridíase (lombriga)
<u>Schistosoma mansoni</u>	verme	esquistossomose
<u>Leptospira iceterohaemorrhagiae</u>	bactéria	leptospirose
<u>Shigella spp</u>	bactéria	disenteria bacilar

Ref. (11) e (34).

2.2 POR QUE TRATAR OS ESGOTOS?

O tratamento dos esgotos sanitários, antes de seus lançamentos em qualquer corpo hídrico, visa:

- prevenção e redução da disseminação de doenças transmissíveis, causadas pelos microrganismos patogênicos;
- conservação das fontes de abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola;
- manutenção das características da água necessária à piscicultura;
- manutenção das águas para o banho e outros propósitos recreativos e
- preservação da fauna e flora aquáticas.

O grau necessário a ser alcançado num determinado tratamento de esgotos sanitários varia de um lugar para outro dependendo, principalmente, de:

- usos preponderantes das águas receptoras a jusante do ponto de lançamento dos esgotos;
- capacidade do corpo d'água em assimilar, por diluição e auto-depuração, o líquido tratado e
- exigências legais estabelecidas pelos órgãos de controle de polução para o corpo receptor em apreço.

REVOGADA

CAPÍTULO 3

O TRATAMENTO DE ESGOTOS ATRAVÉS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

3.1 QUE SÃO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Podem ser definidas como um corpo d'água lântico, construído pelo homem, destinado a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica - esgoto sanitário bruto, sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas - que são tratados por processos naturais físicos, biológicos e bioquímicos, denominados "auto-depuração" ou "estabilização".

Esses processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis.

3.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS DO PROCESSO

As lagoas de estabilização são habitadas por vários tipos de organismos vivos - bactérias, algas, macroinvertebrados, protozoários - que coexistem da interação entre eles e o próprio meio ambiente.

Essa comunidade de seres vivos, assim como os seres humanos, está sujeita a contínuas mudanças e é difícil predizer, com certeza, quando e como elas ocorrerão. Os principais fatores que afetam os organismos desse meio ambiente e, em consequência, a própria eficácia do tratamento são:

- disponibilidade de energias e nutrientes para o seu crescimento: mudanças no tipo de resíduo;
- efeitos das interações entre os próprios seres vivos da comunidade;
- mudanças ambientais de natureza física, tais como temperatura, umidade, radiação solar;
- mudanças sazonais na operação das lagoas.

3.2.1 O Papel das Bactérias

As bactérias são os principais microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica numa lagoa de estabilização. São organismos unicelulares, que podem reproduzir com grande velocidade, a partir da utilização da matéria orgânica disponível. A Figura 3.1 apresenta as formas mais comuns de células bacterianas.

Uma das características das bactérias é a sua capacidade de sobreviver dentro de uma variedade de condições ambientais: um grupo, denominado de aeróbias, só vive e se reproduz num meio contendo oxigênio molecular livre (atmosférico ou dissolvido na água). Outro, denominado anaeróbias, não necessita de oxigênio livre para viver e reproduzir-se. As outras bactérias têm, entretanto, a faculdade de utilizar ou não o oxigênio livre; são as denominadas bactérias facultativas.

As bactérias decompõem as substâncias orgânicas complexas (carboidratos, proteínas e gorduras) dos esgotos em matéria solúvel que passa através da membrana celular e a converte em energia, em novas células bacterianas e produtos finais que, posteriormente, são difundidos no meio líquido pela própria membrana celular. A

solubilização dos compostos é possível graças à liberação de enzimas (catalizadores orgânicos) específicas, liberadas pela própria célula.

Os produtos finais da decomposição dos resíduos orgânicos, pela ação das bactérias em condições aeróbias, são o dióxido de carbono (CO_2), nitratos e fosfatos, que se constituem em alimento essencial para as algas.

Em condições anaeróbias, as bactérias produzem substâncias solúveis, utilizadas como alimento dentro do ecossistema e que podem ser convertidas em gases como dióxido de carbono, metano, gás sulfídrico e amônia.

As bactérias aeróbias são predominantemente encontradas na zona fótica das lagoas de estabilização e semelhantes àquelas identificadas nos processos de lodos ativados e na massa microbiana dos filtros biológicos. As mais frequentes são as Pseudomonas, Flavobacterium e Achromobacter.

As bactérias facultativas, em conjunto com as aeróbias, são as principais responsáveis pela remoção de DBO no líquido sobrenadante das lagoas, sendo que as facultativas exercem um papel importante na primeira fase da digestão anaeróbia da camada de lodo depositada no fundo das lagoas. São elas que hidrolizam, fermentam e convertem as substâncias orgânicas complexas, como lipídeos, proteínas e carboidratos, em compostos mais simples, entre os quais predominam os ácidos voláteis (fórmico, acético, propiônico, butírico e valérico) e são denominadas bactérias da fermentação ácida.

A atividade dessas bactérias é importante porque os ácidos voláteis formados constituem o alimento básico para um outro grupo de bactérias, estritamente anaeróbias, denominado bactérias metanogênicas.

São as bactérias anaeróbias metanogênicas que convertem os produtos da fase de digestão ácida em compostos gasosos como gás carbônico e metano.

Outras bactérias, estritamente anaeróbias, que têm um interesse particular em lagoas de estabilização, são as bactérias fotossintéticas utilizadoras de enxofre. Elas, na presença da luz solar de certos comprimentos de onda, utilizam o gás sulfídrico (H_2S) e depositam enxofre dentro da sua própria célula ou o converte em

sulfatos estáveis. Tem, através de sua própria atividade metabólica, a capacidade de suprimir a produção de odores ofensivos do gás sulfídrico em lagoa anaeróbia moderadamente carregada e em lagoa facultativa com sobrecarga. Tais bactérias são dotadas de pigmentos fotossintéticos ativáveis pela luz solar com comprimentos de ondas maiores que os absorvidos pelas algas, assim, embora não liberem oxigênio livre, elas apresentam vida autotrófica. Consequentemente, não contribuem diretamente para decomposição de matéria orgânica como outras bactérias.

Em lagoas de estabilização, as bactérias patogênicas geralmente encontradas pertencem aos gêneros Salmonella, Shighella, Escherichia, Leptospira e Vibrio. Algumas das doenças causadas por esses microrganismos foram apresentadas anteriormente na Tabela 2.4 do Capítulo 2.

Numa lagoa de estabilização, as patogênicas são, normalmente, incapazes de multiplicar-se ou sobreviver por longos períodos de tempo, pelas seguintes razões:

- elevados valores de pH provocados pelo consumo de CO₂ pelas algas nas lagoas facultativas;
- o efeito bactericida dos raios ultravioletas do sol;
- competição por nutrientes, entre os organismos saprófitas e os patogênicos;
- depredação pelo próprio zooplâncton;
- a existência de certos compostos que são tóxicos para algumas bactérias.

A técnica do número mais provável (NMP) de organismos coliformes presentes num dado volume de esgoto é normalmente aceito como um indicador da qualidade patogênica de um efluente. Nas lagoas de estabilização, principalmente quando associadas em série, as reduções de bactérias são, muitas vezes, superiores a 99,99%. Em números absolutos, contudo, a quantidade de organismos no efluente é ainda bastante elevada.

3.2.2 O Papel das Algas

As algas constituem um grupo de organismos aquáticos unicelulares ou pluricelulares, móveis ou imóveis, dotados de pigmentos fotossintéticos, denominados clorofila. Através da clorofila, elas

têm a capacidade de produzir oxigênio, absorvendo a energia da luz solar e convertendo-a em calor e energia química. Normalmente, multiplicam-se pela simples divisão da célula.

A principal função das algas nas lagoas de estabilização é produzir oxigênio para a realização dos processos de decomposição aeróbios da matéria orgânica e manter as condições aeróbias do meio aquático.

O oxigênio resultante da fotossíntese das algas é suficiente para, durante o dia, exceder a demanda respiratória das próprias algas e outros organismos envolvidos na estabilização da matéria orgânica na camada fótica.

Um outro papel suplementar das algas nas lagoas é a remoção de nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e carbono, para satisfazer às suas próprias necessidades nutricionais. Dependendo do tipo de alga, da forma em que esses nutrientes se apresentam no meio e do estágio de degradação da matéria orgânica na lagoa, a produção de oxigênio será maior ou menor. Muitas algas preferem o nitrogênio na forma de amônia, porque este é rapidamente sintetizado em aminoácidos e, nesses casos, 1 kg de algas, em peso seco, pode produzir 1,6 kg de oxigênio. Certas espécies de algas podem se utilizar das formas oxidadas do nitrogênio - (nitritos e nitratos) e a produção, teoricamente esperada, chega a valores de 2,0 kg de O_2 por kg de matéria seca de alga ⁽¹⁾.

Outro efeito indireto que as algas proporcionam às lagoas decorre do consumo de dióxido de carbono - subproduto da respiração das bactérias saprófitas e provenientes dos bicarbonatos do próprio meio líquido - que modifica o equilíbrio carbonato-bicarbonato e, em consequência da formação de ions hidróxidos OH^- , eleva o pH do líquido.

Valores elevados de pH (8 a 11 são comuns) ocasionam uma redução do número de bactérias, precipitação dos fosfatos de cálcio e perda parcial da amônia para a atmosfera. A mortandade e/ou redução das bactérias entéricas (E.Coli) é um aspecto positivo desse comportamento das algas, todavia um decréscimo da população saprófítica pode ser prejudicial aos processos de decomposição da matéria orgânica.

As algas, no efluente das lagoas de estabilização, respondem por uma das maiores deficiências dessas instalações. Contribuem, sig

nificativamente, com o aumento de sólidos em suspensão, principalmente no verão, quando ocorre um crescimento mais intenso das algas.

Como a intensidade da incidência da luz solar e a densidade das algas determinam a profundidade até onde a luz penetra na lagoa, o maior número de algas é, normalmente, encontrado um pouco abaixo da superfície. Considerando também que durante a noite as algas continuam necessitando de oxigênio para a sua respiração, os níveis de oxigênio dissolvido na lagoa de estabilização são mais baixos entre 1 hora da manhã até o nascer do sol, e mais elevado das 14 às 16 horas.

Existem muitas formas de algas nas lagoas: contudo duas mais importantes, e que parecem estar relacionadas com a qualidade da lagoa, destacam-se:

- algas verdes: que dão uma coloração esverdeada às lagoas e indicam uma boa condição de funcionamento; estão sempre associadas a pH elevado e um meio líquido balanceado em nutrientes.
- algas azuis: são unicelulares, coloniais ou filamentosas e menos eficientes na produção de oxigênio. Predominam, geralmente, nas lagoas com valores de pH próximo do neutro ou tendendo ao alcalino, em temperaturas de água mais elevadas (maiores que 30°C) e onde existe uma deficiência ou desbalanceamento de nutrientes (principalmente nitrogênio). Por possuírem vacúolos ou pseudo-vacúolos de gás nas suas células, estas algas flutuam na superfície do líquido, dificultando assim, a penetração de luz na água. Normalmente, quando se decompõem, exalam maus odores (Microcystis).

Algumas espécies de algas encontradas nas lagoas de estabilização estão esquematizadas na Figura 3.2⁽⁶⁾ e alguns gêneros de algas identificadas nos efluentes de lagoas de estabilização facultativas do interior do Estado de São Paulo são apresentadas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - Alguns gêneros de algas identificadas nos efluentes de lagoas de estabilização facultativas primárias e secundárias do interior do Estado de São Paulo

ALGAS VERDES	FITOFLAGELADOS	ALGAS AZUIS	DIATOMÁCEAS
<u>Scenedesmus</u>	<u>Trachlelomonas</u>	<u>Oscillatoria</u>	<u>Cyclotella</u>
<u>Ankistrodesmus</u>	<u>Euglena</u>	<u>Microcystis</u>	
<u>Golenkinia</u>	<u>Phacus</u>	<u>Synechococcus</u>	
<u>Oocystis</u>	<u>Chlamydomonas</u>	<u>Synechocystis</u>	
<u>Micractinium</u>	<u>Peranema</u>	<u>Merismopedia</u>	
<u>Tetrastrum</u>	<u>Pandorina</u>		
<u>Closteriopsis</u>	<u>Iepocinalis</u>		
<u>Chlorella</u>	<u>Hemidinium</u>		
<u>Crucigenia</u>	<u>Petalomonas</u>		
<u>Planktosphaeria</u>	<u>Peridinium</u>		
<u>Coelastrum</u>	<u>Gummodinium</u>		
<u>Protococcus</u>	<u>Synura</u>		
<u>Actinastrum</u>	<u>Heteronema</u>		
<u>Dictyosphaerium</u>			
<u>Coronastrum</u>			
<u>Nephrochlamys</u>			
<u>Chlorococcum</u>			
<u>Cosmarium</u>			
<u>Tetraspora</u>			
<u>Sphaerocystis</u>			
<u>Protococcus</u>			

Fonte: CETESB

3.2.3 O Papel do Zooplâncton

O zooplâncton compreende pequenos animais invertebrados (micrometazoários, larvas de inseto, etc) e organismos unicelulares, conhecidos como protozoários, que vivem flutuando livremente ou em suspensão nas águas.

A importância sanitária desses minúsculos animais nas lagoas de estabilização, não está ainda totalmente investigada. Entretanto, o seu significado no ecossistema e na eficiência das lagoas permite tecer algumas considerações de ordem prática.

A presença de Rotíferos, Cladóceras (Daphnia) e Copepóides é esperada nas lagoas secundárias e nas lagoas de maturação ou "polimento" quando em grande número, afetam o balanço de oxigênio pela supressão ou diminuição do número de algas e aumento da demanda respiratória. Eles contribuem também na estabilização dos processos de tratamento porque se alimentam de bactérias, protozoários, partículas orgânicas em suspensão, podendo desta forma clarificar o efluente.

Os protozoários são também animais predadores que se alimentam de bactérias, detritos orgânicos particulados e protozoários menores, possuindo também, importante papel na clarificação do efluente.

Os vermes Nematóides e Anelídeos encontrados no lodo do fundo das lagoas de estabilização contribuem também na estabilização dos lodos orgânicos, alimentando-se de detritos.

As Figuras 3.3 a 3.7⁽³⁹⁾ apresentam esquemas de alguns exemplos de micrometazoários, protozoários, vermes e insetos presentes em lagoas de estabilização.

As Tabelas 3.2 e 3.3 apresentam alguns gêneros de protozoários , animais superiores e larvas de insetos identificados em lagoas facultativas e de maturação do Estado de São paulo.

TABELA 3.2 - Alguns gêneros de protozoários identificados em lagoas de estabilização facultativas do Estado de São Paulo

GÊNEROS
<u>Amaoeba</u>
<u>Paramecium</u>
<u>Teuthophrys</u>
<u>Himenostomina</u>
<u>Halteria</u>
<u>Tokophrya</u>
<u>Vorticella</u>
<u>Podophrya</u>
<u>Dinidium</u>

FONTE: CETESB

TABELA 3.3 - Alguns gêneros de animais superiores e larvas de insetos identificados em lagoas de estabilização facultativas e de maturação

GÊNEROS E ESPÉCIES
<u>Rotíferos</u>
. <u>Brachionus angularis</u>
. <u>Brachionus calucyflorus</u>
. <u>Cephalodella spp</u>
. <u>Filinia longiseta</u>
<u>Cladoceras</u>
. <u>Moinodaphnia spp</u>
<u>Copepodos</u>
. <u>Copepodito</u>
. <u>Copepodo cylopoida</u>
<u>Larva de insetos</u>
. <u>Notonectidae</u>
. <u>Buenoa spp</u>
. <u>Chironomidae</u>

FONTE: CETESB

3.3 OS PROCESSOS QUE OCORREM EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

A matéria orgânica que entra numa lagoa de estabilização é constuída por sólidos sedimentáveis e não sedimentáveis, coloidal ou em solução.

A matéria sedimentável e a matéria coloidal floculada sedimentam, principalmente nas proximidades da entrada; para formar a camada de lodo, enquanto a matéria restante, permanece no meio líquido.

Na camada de lodo, os sólidos orgânicos sedimentados são estabilizados por bactérias (formadoras de ácidos e de metano) que, em condições anaeróbias, liberam gases para a atmosfera e compostos solúveis para o meio líquido. Sob determinadas condições de temperatura e quantidade de matéria orgânica aplicada na lagoa, a gaseificação pode ser responsável por uma redução de 20 a 30% da carga de DBO aplicada na lagoa. A matéria orgânica solúvel resultante dessa decomposição acarreta, todavia, um acréscimo de DBO no meio líquido.

A fração de matéria orgânica no meio líquido, corresponde aos sólidos não sedimentados e aos compostos solúveis da realimentação da camada de lodo e é decomposta por bactérias aeróbias, facultativas e anaeróbias.

As reações, as fontes de alimentos característicos, os produtos finais e os requisitos ambientais dos quatro tipos de reação biológica que ocorrem nas lagoas de estabilização são mostrados na Tabela 3.4.

Os resultados das complexas atividades físicas, bioquímicas e biológicas, bem como as suas interações, estão esquematicamente apresentadas nas Figuras 3.8 e 3.9.

TABELA 3.4 - Resumo das principais reações biológicas e exigências ambientais numa lagoa de estabilização de esgotos sanitários

REAÇÃO BIOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS					FATORES AMBIENTAIS				
	ORGANISMOS	ALIMENTOS BÁSICOS	PRINCIPAIS PRODUTOS	TEMPO REQUERIDO (dias) *	ODORES PRODUZIDOS	TEMP. °C PERMISSÍVEL ADEQUADA **	OXIGÊNIO	pH	LUZ	
OXIDAÇÃO AERÓBICA	BACTÉRIAS AERÓBIAS	CARBOIDRATOS PROTEÍNAS	CO ₂ NH ₃	5 - 10	NENHUM	0 - 40 15 - 30	NECESSÁRIO	7,0 - 9,0	NÃO NECESSÁRIA	
FERMENTAÇÃO POSSINTÉTICA	ALGAS	CO ₂ , NH ₃	OXIGÊNIO DAS ALGAS	10 - 20	NENHUM	4 - 40 15 - 25	NECESSÁRIO DENTRO DE CERTAS CONDIÇÕES	6,5 - 10,5	NECESSÁRIA	
FERMENTAÇÃO METÂNICA	BACTÉRIAS FACULTATIVAS HETEROTRÓFICAS	CARBOIDRATOS PROTEÍNAS GORDURAS	ÁCIDOS ORGÂNICOS	10 - 20	H ₂ S ÁCIDOS ORGÂNICOS	0 - 50 10 - 40	DESNECESSÁRIO DENTRO DE CERTAS CONDIÇÕES	4,5 - 8,5	NÃO NECESSÁRIA	
	BACTÉRIAS PRODUTORAS DO METANO	ÁCIDOS ORGÂNICOS	CH ₄ CO ₂ H ₂	40 - 50	H ₂ S	6 - 50 14 - 30	DEVE SER EXCLUÍDO	6,8 - 7,2	NÃO NECESSÁRIA	

* Tempo requerido para desenvolver uma população de organismos estável

** Faixa permissível

Faixa adequada

ONTE: Adaptado de OSWALD, W.J. "apud" Ref. (30)

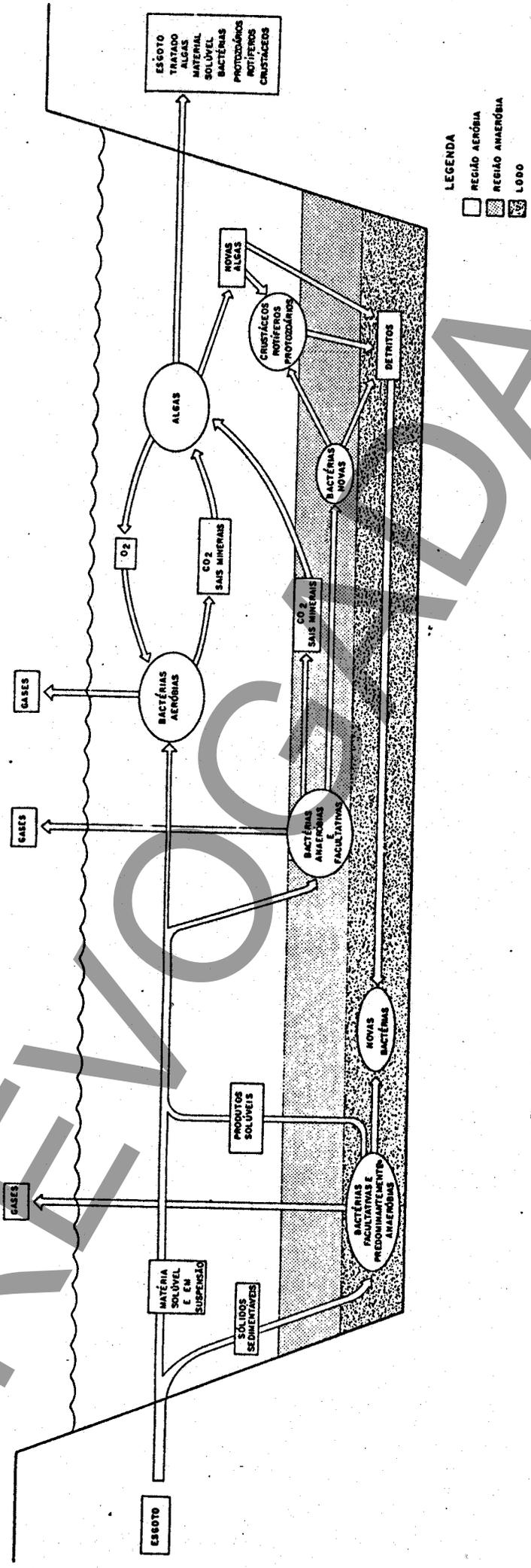
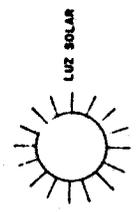


FIG. 3.8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

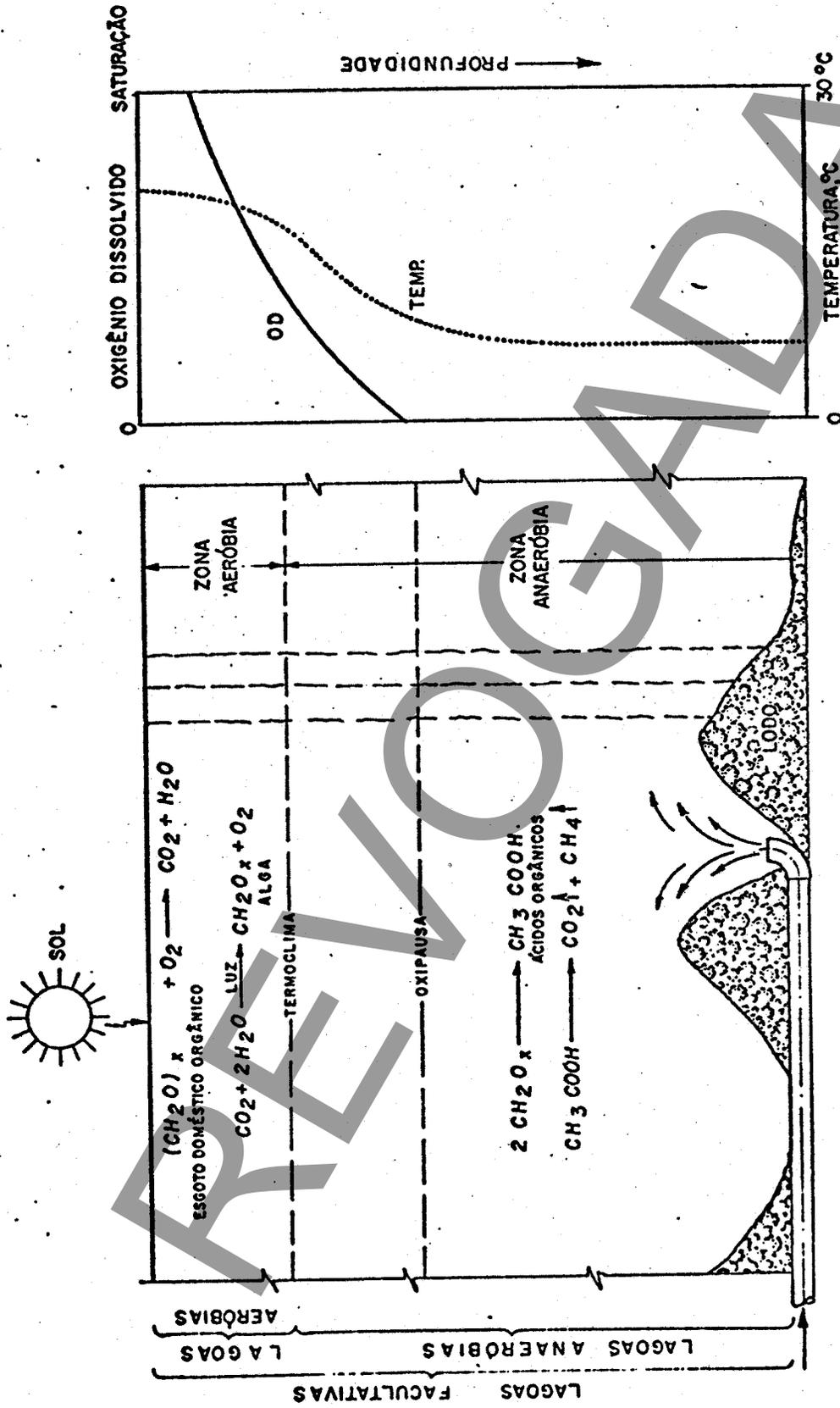


FIG. 3.9 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO.

FONTE: SEGUNDO W.J. OSWALD.

3.4 TIPOS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Quanto à atividade biológica que predomina nas lagoas de estabilização, estas podem ser classificadas em:

- Anaeróbias: são aquelas que operam ou são projetadas com cargas orgânicas tais que não contêm oxigênio molecular livre em todo o instante e através de todo o seu volume. Nestas, predominam os processos de fermentação ácida e metanogênica na camada do lodo e no líquido sobrenadante. Embora considerável redução de DBO seja obtida, o efluente, para atender a Legislação Estadual de lançamento em corpos d'água, necessita de tratamento complementar.
- Aeróbias: são lagoas rasas que permitem a penetração de luz em toda a profundidade. As lagoas aeróbias aceleradas tem profundidade de 0,30 a 0,50 m e são misturadas mecanicamente de modo a expor todas as algas à iluminação solar e para evitar o desenvolvimento de uma camada de lodo de fundo. Estas são projetadas e operadas para maximizar a produção de algas.
- Facultativas: são aquelas onde ocorrem uma estabilização aeróbia na zona fótica (zona onde a penetração da luz é efetiva) e uma fermentação anaeróbia na camada inferior de fundo. A produção de oxigênio provém principalmente da atividade fotossintética das algas e, em menor proporção, da reaeração superficial.
- De Maturação: são aquelas utilizadas para o tratamento terciário do efluente de estações de oxidação biológica, tais como filtros biológicos, lodos ativados e lagoas facultativas. A finalidade é produzir um efluente de alta qualidade através da remoção de sólidos em suspensão, redução do número de bactérias e das concentrações de nitratos e fosfatos e, em pequena proporção, uma redução adicional da demanda bioquímica de oxigênio.

3.5 ARRANJOS POSSÍVEIS E RECIRCULAÇÃO

3.5.1 Sistemas Unicelulares e Multicelulares

O tratamento pode se processar em uma, duas ou mais lagoas. Cada lagoa é denominada célula e o conjunto, sistema de lagoas.

A experiência tem demonstrado que uma série de lagoas é mais eficiente, em termos de tratamento biológico, do que uma única lagoa de área equivalente.

No Brasil, são poucas as estações de tratamento de esgotos projetadas para permitir uma gama de opções para uma boa operação. Quando o responsável pelo sistema e os operadores dispuserem dessas alternativas, deverão optar por:

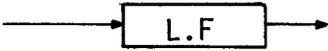
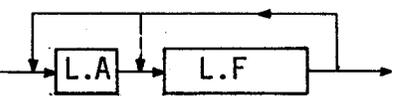
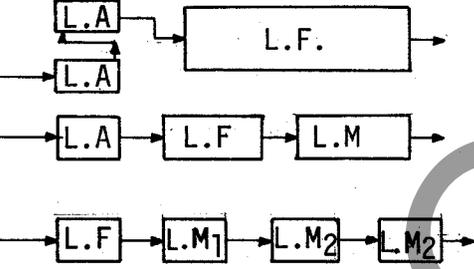
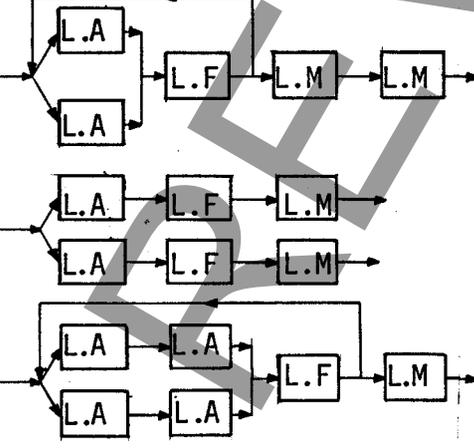
- operação em série, particularmente, onde três ou mais lagoas são usadas. Nesse tipo de arranjo, o líquido flui de uma unidade para a outra. A primeira célula ou lagoa da série recebe o esgoto bruto, chama-se lagoa ou célula primária; a segunda, que recebe o efluente "tratado" da primeira célula, chama-se secundária e assim por diante. Normalmente, tratando-se de esgoto sanitário, a terceira lagoa da série é considerada uma lagoa de maturação ou polimento. Essa associação tende a minimizar a quantidade de algas e outros poluentes na última célula, resultando num efluente de melhor qualidade.
- operação em paralelo, quando se desejar reduzir a carga orgânica nas células primárias. Nesse tipo de associação, duas ou mais células recebem, simultaneamente, vazões e cargas orgânicas proporcionais às suas capacidades e podem receber esgoto bruto ou efluentes parcialmente tratados de unidades que as antecedem. Esse arranjo proporciona uma melhor distribuição dos sólidos sedimentáveis e oferece a flexibilidade de retirar, provisoriamente, uma célula para limpeza e redistribuir, durante essa fase, a carga nas demais unidades.

Algumas associações de lagoas de estabilização estão apresentadas na Figura 3.10.

3.5.2 Recirculação

A utilização de bombas de recirculação para retornar o efluente de uma lagoa qualquer de uma associação em série para a entrada da própria lagoa ou para qualquer lagoa precedente, pode, a princípio, constituir uma sofisticação desnecessária e dispendiosa no tratamento de esgotos por meio de lagoas de estabilização.

Todavia, a recirculação traz inúmeros benefícios à operação das lagoas e, em certos casos, é considerada indispensável. Recomenda-se a recirculação nas seguintes situações:

ESQUEMAS	DENOMINAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
	Lagoa facultativa primária ou unicelular.	Corresponde a um tratamento secundário.
	Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa.	Produz um efluente de melhor qualidade que o das lagoas facultativas primárias e ocupam menores áreas.
	Lagoa anaeróbia seguida de facultativa com recirculação do efluente para a anaeróbia.	Recirculação prevista para a minimização de odores da anaeróbia ou reoxigenação e distribuição dos sólidos na facultativa.
 <p>EFLUENTE DE ETE CONV.</p>	Sistema de lagoas em série.	<ul style="list-style-type: none"> • Produz efluente de melhor qualidade que o de um sistema isolado ou de um sistema de lagoa com menor número de células em série. • Recirculação prevista para redução de odores na célula anaeróbica. • Remoção de nutrientes.
	Sistema de lagoas em série e em paralelo	<ul style="list-style-type: none"> • Recirculação permite o emprego de lagoas anaeróbias com menores tempos de detenção. • Oferece grande flexibilidade operacional. • Produz efluente com qualidade melhor de que um sistema isolado ou de um sistema com menor nº de lagoas associadas em série.

LA - Lagoa Anaeróbia

LF - Lagoa facultativa

LM - Lagoa de maturação

FIG.3.10-ARRANJOS TÍPICOS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

- Numa lagoa facultativa unicelular:

O bombeamento do efluente de uma lagoa facultativa para a entrada da mesma lagoa corrige deficiências do oxigênio dissolvido decorrentes da estratificação térmica e auxilia na prevenção de odores e de condições anaeróbias nas zonas de alimentação da lagoa. A recirculação do líquido, abaixo do termoclima (hipolímio), possibilita que certas espécies de algas não móveis e produtoras de oxigênio (por exemplo, as Chlorellas) tenham a oportunidade de freqüentar a zona fótica, região mais propícia às suas atividades fotossintéticas.

Quando não se instalam bombas de recirculação, a mistura do conteúdo das lagoas e, em consequência, a quebra da estratificação pode ser assegurada com a instalação de misturadores mecânicos verticais de palhetas (idênticos aos dos flocluladores mecânicos do tratamento de água) dentro da própria lagoa. Como primeira aproximação, potências de 400 watts/ha são suficientes para romper a estratificação térmica.

- Recirculação do efluente de uma lagoa facultativa secundária para uma facultativa primária

Permite suprimir odores decorrentes de sobrecargas temporárias na primeira célula, projetar a célula primária para receber cargas orgânicas mais elevadas e assegurar a mistura do conteúdo líquido das lagoas. As razões de recirculação sugeridas são de 1:1 a 1:2.

- Recirculação do efluente de uma lagoa facultativa ou aeróbia para a entrada de um conjunto de lagoas anaeróbias primárias

Possibilita o emprego de unidades anaeróbias com maiores cargas volumétricas (ou menores tempos de detenção) e mantém uma tênue camada de oxigênio dissolvido para minimizar e/ou eliminar os maus odores das células primárias.

As razões de recirculação indicadas são de 25% a 50% da vazão de esgoto bruto.

Experiências práticas realizadas pela CETESB, com o emprego da recirculação em lagoas em série, sugerem que a vazão recirculada, com o emprego de taxas de recirculações elevadas (1:1 ou mais), seja bombeada da caixa de saída do efluente (após o vertedouro) e não diretamente da lagoa, pois, constatou-se um declínio considerável da densidade de algas na lagoa que beneficiava as unidades em sobrecarga.

A Figura 3.11 mostra algumas configurações usuais de sistemas de recirculação e as Figuras 3.12 e 3.13 apresentam os esquemas de re circulação, cargas orgânicas aplicadas nas lagoas e razões de re circulação empregadas na África do Sul e recomendadas por Abbott⁽¹⁷⁾.

REVOGADA

CAPÍTULO 4

LAGOAS ANAERÓBIAS

4.1 COMO SÃO TRATADOS OS ESGOTOS EM LAGOAS ANAERÓBIAS?

As lagoas anaeróbias são usualmente dimensionadas para receber elevadas cargas orgânicas da ordem de 0,04 a 0,08 kg DBO/dia.m³, com tempos de detenção de 3 (três) a 6 (seis) dias e com alturas de lâmina d'água de 2,5 (dois e meio) a 4,5 (quatro e meio) metros. Esses valores possibilitam que a degradação anaeróbia se processe com um mínimo de odor e prevêem uma certa folga para o acúmulo de lodo.

Taxas volumétricas máximas de até 0,30 kg DBO/dia. m³ ou detenções mínimas de 12 horas podem ser empregadas numa lagoa anaeróbia, desde que localizada distante (1.000 m a 1.500 m) de residências e associada em série com outras lagoas anaeróbias e/ou facultativas e seja prevista a recirculação do efluente dessa última para a entrada do sistema. Sistema desse tipo, empregado na África do Sul, acha-se representado, esquematicamente, na Figura 3.13 do Capítulo 3.

As lagoas anaeróbias, quando comparadas a uma estação de tratamento convencional, substituem as seguintes unidades:

- decantadores primários;
- adensadores de lodo;
- digestores anaeróbios;
- sistema de queima de gás;
- unidades de desidratação de lodo e
- bombas, motores e equipamentos envolvidos no tratamento primário dos esgotos.

Quando os esgotos ingressam numa lagoa anaeróbia ocorrem, naturalmente, os seguintes processos:

- a) a matéria orgânica sedimentável se acumula no fundo da lagoa formando uma camada de lodo. Este sofre um processo de digestão anaeróbia que progride em duas etapas:
 - liquefação e formação de ácidos orgânicos;
 - fermentação metânica.

A fração do lodo, transformada em gás, será tanto maior quanto maior a temperatura da camada do lodo. A fermentação metânica só é efetiva acima de 15°C e alcança eficiências máximas em torno de $30 - 35^{\circ}\text{C}$. Assim, nas baixas temperaturas de inverno resulta um acúmulo de lodo, mas nas temperaturas elevadas de verão a acumulação é reduzida pelo aumento da velocidade das taxas de degradação. O efeito global, portanto, é uma acumulação e uma redução do volume do lodo sazonais no decorrer do tempo. Em consequência, leva-se tempo para que haja necessidade de remoção do lodo depositado nas lagoas anaeróbias.

Segundo Oswald⁽³⁰⁾, a equação aproximada (entre 16° e 30°C) para estimar a produção do gás proveniente da fermentação metânica é $G = 31,5 (T - 15)$, onde G é a produção de gás em $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{dia}$ e T a temperatura do lodo em $^{\circ}\text{C}$. Com base na composição do gás, pode-se estimar que este representa a destruição de 1 kg de DBO por cada $0,624 \text{ m}^3$ de gás.

A taxa de acumulação do lodo em uma lagoa anaeróbia é de cerca de $0,03$ a $0,05 \text{ m}^3/\text{hab} \cdot \text{ano}$ ⁽¹⁾.

Medições práticas, feitas pelo Eng^o Senra da Silva⁽³³⁾, da espessura da camada do lodo em duas lagoas anaeróbias do Estado de São Paulo, após 3 (três) e 8 (oito) anos de operação, revelaram que elas variaram de $5,7 \text{ cm/ano}$ (na anaeróbia com 3 anos de operação) e de $2,18 \text{ cm/ano}$ na mais antiga. O autor da pesquisa ressaltou ainda que o valor de $5,7 \text{ cm}$ foi constatado na lagoa que recebia contribuições indevidas de águas pluviais à rede coletora de esgotos. Para se ter uma idéia da composição dos lodos depositados, nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 constam os resultados analíticos dessa pesquisa.

Registra-se, contudo, que a deposição do lodo numa lagoa não ocorre de maneira uniforme. Os grandes acúmulos são verificados em torno das tubulações de alimentação da lagoa. Não é raro, no Estado de São Paulo, encontrarem-se grandes "ilhas" em torno dos pontos de descarga do afluente.

TABELA 4.1 - Dados operacionais levantados da sedimentação de lodos na lagoa anaeróbia do Município de Mairiporã (SP)

CARACTERÍSTICAS	início operação (1974)	1981
Vazão (l/s)	5,0	21,0
Carga de aplicação superficial (kg DBO/ha.dia)	505	1.917
Carga de aplicação volumétrica (kg DBO/m ³ .dia)	0,17	0,063
Número de pontos amostrados	10	
Valor máximo encontrado (cm)	25	
Altura média da camada de lodo (cm)	17,5	
Acúmulo máximo por ano (cm/ano)	3,0	
Acúmulo médio de lodo por ano (cm/ano)	2,18	
Prof. lâmina de operação (m)	3,0	

FONTE: Ref. (33)

TABELA 4.2 - Características dos lodos acumulados e amostrados na lagoa anaeróbia do Município de Mairiporã (SP)
Coleta 06.06.81

DETERMINAÇÕES	UNIDADE	Pontos 1, 2, 3	Pontos 4, 5, 6, 7	Pontos 8, 9, 10
pH		7,2	7,1	7,1
Sólidos totais	mg/l	399.020	104.000	71.780
Sólidos voláteis	mg/l	82.980	34.900	21.060
Sólidos fixos	mg/l	316.040	72.100	50.720
Alcalinidade	mg/l	920	900	570
Acidez volátil	mg/l	135	75	120
Lodo sedimentado (altura média)	cm	15,3	21,2	14,6
Profundidade da lagoa	m	3,20	3,20	3,20

FONTE: Ref. (33)

TABELA 4.3 - Dados operacionais levantados da sedimentação de lodos - Lagoa Anaeróbia do Município de Tatuí (SP)

CARACTERÍSTICAS	início de operação 1977	1980
Vazão (l/s)	-	39,0
Carga de aplicação superficial (kg/dia.ha)	-	400
Carga de aplicação volumétrica (kg/dia.m ³)	-	0,025
Nº de pontos amostrados	8	
Altura de lodo depositado (cm)	17,12	
Acúmulo médio por ano (cm/ano)	5,7	
Altura máxima encontrada (cm)	18,0	
Profundidade da lâmina d'água (m)	1,60	

FONTE: Ref. (33)

TABELA 4.4 - Características dos lodos acumulados e amostrados na Lagoa Anaeróbia de Tatui (SP)

Coleta 02.10.80

PONTOS DE AMOSTRAGEM	1	3	5	6	8	11	13	15
DETERMINAÇÕES	15	18	18	16	18	18	16	18
Altura da camada de lodo (cm)	6,8	7,8	6,7	6,8	6,5	6,9	6,4	6,6
pH	20	20	40	30	30	20	40	40
Ácidos voláteis (mg/l)	320	400	300	140	200	340	150	280
Alcalinidade total (mg/l)	23.020	28.400	16.500	23.390	24.500	25.400	16.400	15.520
Sólidos totais (mg/l)	12.020	10.200	6.300	4.400	6.090	6.000	6.820	4.520
Sólidos totais fixos (mg/l)	3.500	5.200	4.700	3.990	4.410	4.400	5.580	3.500
Sólidos totais voláteis (mg/l)	24	24	24	24	24	24	24	24
Temperatura do lodo (°C)	7.500	13.000	5.500	15.000	14.000	15.000	4.000	7.500
Sílica (SiO ₂) (mg/l)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Alt. lâmina d'água (m)								

FONTE: Ref. (33)

- b) O material flutuante como óleos, gorduras, rolhas, etc, permanecem na superfície líquida formando uma crosta (escuma) sobre a lagoa. A formação dessa camada de escuma tende a aumentar quanto maior a carga orgânica aplicada. Existe muita contradição a respeito da utilidade dessa crosta. A maioria dos operadores dessas instalações, em São Paulo, reclamam dos seus inconvenientes: mau aspecto da lagoa, causa dos maus odores na unidade e constitui-se num criadouro favorável para proliferação de mosquitos e moscas Syrphidae e numa fonte de alimento para alguns pássaros.

A experiência, em outros países, demonstra a grande utilidade de se manter essa camada de escuma: exclui o oxigênio dissolvido, reduz a produção de odores e mantém o calor no conteúdo líquido das lagoas. Esses aspectos positivos foram constatados pela CETESB, quando operando as lagoas do Município de Rancheira, que tratam os esgotos sanitários combinados com os despejos industriais de um matadouro-frigorífico. Os inconvenientes notados foram a progressiva formação de espessas camadas, germinação das sementes trazidas pelos esterco bovinos e a formação de um habitat para alimentação dos pássaros.

Para evitar que esse material flutuante saia das lagoas, dispositivos especialmente construídos na saída das lagoas devem ser projetados.

- c) A carga orgânica da fração líquida dos esgotos também é reduzida através da decomposição anaeróbia, onde bactérias formadoras de ácido e de metano, através de seus processos metabólicos (respiração, alimentação e crescimento) transformam parte da matéria orgânica existente nos esgotos em matéria mineral; há a produção de gases (CO_2 , CH_4 , H_2S) que se despreendem através da superfície líquida.
- d) A eficiência provável na remoção de DBO nas lagoas anaeróbias está intimamente relacionada à detenção e à temperatura do líquido.

A Tabela 4.5 foi preparada por Arceivala⁽¹⁾ com base nas experiências desenvolvidas em Zâmbia, África do Sul, Austrália, Israel e Índia.

TABELA 4.5 - Tempos de detenção recomendados para lagoas anaeróbias segundo Arceivala

Temperatura da lagoa anaeróbia (°C)	Tempo de detenção (dias)	Eficiência provável de remoção de DBO (%)
10	5	0 - 10
10 - 15	4 - 5	30 - 40
15 - 20	2 - 3	40 - 50
20 - 25	1 - 2	40 - 60
25 - 30	1 - 2	60 - 80

FONTE: Ref. (1)

Não existe, a priori, um valor absoluto que determine se a qualidade do efluente de uma lagoa de estabilização é boa ou má em relação a um certo parâmetro, sem associá-la ao tipo de projeto proposto, condições operacionais do sistema e condições ambientais específicas, além dos usos a que se destinam as águas que recebem esses efluentes.

A principal justificativa para isso é que sendo um processo biológico natural, onde o homem praticamente não pode interferir no resultado final, lagoas identicamente carregadas podem responder diferentemente em distintas regiões, em função de condições ambientais específicas.

Existem, entretanto, faixas prováveis das concentrações do efluente de alguns parâmetros ou reduções prováveis para certos poluentes tratados nas lagoas de estabilização.

De investigações feitas em lagoas anaeróbias nos Estados de São Paulo e Paraná, pode-se compor a Tabela 4.6 que mostra as eficiências obtidas na remoção de DBO, bem como a Tabela 4.7 que compara os resultados operacionais extremos levantados. Tempo de retenção além de 6 dias não é geralmente recomendado porque as lagoas tendem a funcionar como facultativas. Isto pode explicar a alta eficiência nas lagoas anaeróbias do Estado de São Paulo.

De modo geral, reduções de DBO entre 35% e 60% podem ser esperadas nas lagoas anaeróbias.

TABELA 4.6 - Dados operacionais levantados em várias lagoas anaeróbias dos Estados de São Paulo e Paraná

LOCALIDADE	Temperatura da lagoa (°C)	Tempo de retenção (dias)	Taxas Volumétricas (kg DBO/dia. m ³)	Eficiências de remoção de DBO obtidas (%)
Itapira	23,3	9,4	0,025	68
Pindamonhangaba	24,2	3,6	0,039	42
Pradópolis	25,2	7,5	0,035	72
Pradópolis	19,0	8,0	0,035	61
Itapira	18,0	10,5	0,03	57
Maringá	21,6	10,5	0,033	71
Maringá	19,5	8,3	0,044	75
Maringá	24,9	7,2	0,058	74
Maringá	25,1	4,8	0,081	67
Maringá	19,7	4,3	0,09	65
Tatuí	25,2	1,2	0,192	31

FONTE: Ref. (20)

TABELA 4.7 - Comparação de resultados operacionais extremos levantados em algumas lagoas anaeróbias dos Estados de São Paulo e Paraná

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	FAIXA DE VARIAÇÃO
Esgoto afluente	Esgoto bruto
Temperatura da lagoa (°C)	23,3 - 25,2
Carga volumétrica (kg DBO/dia. m ³)	0,025 - 0,192
Tempo de detenção (dias)	9,4 - 1,2
Profundidade de lâmina d'água(m)	1,5 - 2,1
DBO do esgoto afluente (mg/l)	240 - 228
DBO do esgoto efluente (mg/l)	77,4 - 158
Redução de DBO (%)	68 - 31
Presença de algas	SIM - NÃO
Presença de oxigênio dissolvido	SIM - NÃO
Exalação de odor	NÃO - SIM
Carga superficial (kg DBO/ha.dia)	375 - 4032
Características prováveis do efluente:	
Condição mais favorável	. cor esverdeada, com sólidos em suspensão e sem odor.
Condição mais desfavorável	. cor cinza escuro, e possui odor séptico

OBS.: O primeiro valor da faixa de variação relaciona-se com condições operacionais mais favoráveis observadas no levantamento.

FONTE: adaptado da Ref. (20)

4.2 FATORES QUE AFETAM O FUNCIONAMENTO DAS LAGOAS ANAERÓBIAS

As condições hidráulicas e biológicas, que tomam parte no processo de tratamento dos esgotos através das lagoas de estabilização, podem ser afetadas por uma série de fatores. Alguns são levados em conta no projeto e outros, de natureza incontornável, devem, na medida do possível, ser considerados com bastante critério e de tal modo a tornarem mínimas suas interferências no funcionamento das lagoas.

4.2.1 Fatores Naturais Não Controláveis

São os parâmetros ou fatores não controláveis pelo homem e estão representados por fenômenos meteorológicos e por aquelas variáveis locais, como a infiltração e as características dos esgotos a serem tratados.

4.2.1.1 Ventos

- a) Nas lagoas de estabilização com grandes espelhos d'água, maiores que 10 ha, a formação de ondas, pela ação do vento, pode ser erosiva aos taludes internos. Para evitar esses efeitos, os mesmos devem ser protegidos, 30 cm abaixo e acima dos níveis d'água mínimos e máximos de operação.
- b) A turbulência provocada pelo vento pode também favorecer a formação de curto-circuitos nas lagoas. Recomenda-se que, na localização dos dispositivos de entrada e saída dos fluxos, a direção dos ventos predominantes ocorra do efluente para o afluente.

4.2.1.2 Temperatura

É um parâmetro incontornável e de grande importância para o bom funcionamento da lagoa anaeróbia. A temperatura está relacionada com a radiação solar e afeta a velocidade do metabolismo das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos.

- a) A atividade biológica decresce com a temperatura e pode-se prever, grosseiramente, que uma queda de 10°C na temperatura reduzirá a atividade microbiológica pela metade.
- b) A atividade de fermentação do lodo não ocorre significativamente em temperaturas abaixo de 17°C e aumenta de quatro vezes em atividade para cada 5°C de elevação de temperatura entre

4°C e 22°C. A partir de 30°C, a fermentação anaeróbia do lodo intensifica-se a tal ponto que os gases produzidos poderão, em lagoas de 1 a 2 m de lâmina líquida (concepção antiga de lagoa anaeróbia), arrastar à superfície placas de lodo da camada do fundo.

A temperatura do líquido de uma lagoa depende de vários fatores, tais como a vazão e temperatura do esgoto afluente, temperatura do ar e radiação solar, sendo os dois últimos os mais importantes e dependentes entre si.

De uma maneira geral, a variação de temperatura de água nas lagoas é menor que a oscilação da temperatura do ar, devido à maior inércia térmica da água em relação ao ar.

Por outro lado, a temperatura superficial da água é, quase sempre, superior à do ar.

A experiência também comprova que:

- a) a temperatura da água durante a noite é praticamente constante por todo o volume da lagoa, com uma temperatura superficial levemente inferior à média da lagoa nas horas em que a temperatura ambiente é mais baixa. Isto indica que, nestas horas, se produz um fluxo de calor das camadas inferiores, com temperaturas levemente maiores, para a superfície. Durante as horas diurnas, em que a temperatura ambiente supera a temperatura média da água, esta absorve energia e dá-se início ao processo de estratificação térmica. O gradiente térmico é maior quanto mais elevada for a temperatura ambiente em relação à da água.
- b) a temperatura do efluente da lagoa é superior à temperatura média da água e inferior à temperatura superficial durante as horas diurnas, entretanto, à noite, os três valores são muito semelhantes.
- c) como numa lagoa de estabilização não existe uma temperatura uniforme, em virtude dos fatores anteriormente mencionados, é mais conveniente referir-se à "temperatura média da lagoa" ou à "temperatura superficial da lagoa", conforme seja o caso, do que à "temperatura da lagoa".

4.2.1.3 Precipitação pluviométrica

A precipitação da água de chuva diretamente na área de espelho d'água não tem provocado efeitos duradouros ou prejuízos mensuráveis nas lagoas de estabilização. Todavia, a admissão de águas pluviais nas redes coletoras de esgotos, quase sempre, provoca uma diluição das águas residuárias, diminuição do tempo de detenção, mudanças súbitas na temperatura da massa líquida, arrastes significativos da população das algas, carreamento de materiais inorgânicos (argila) e, conseqüentemente, uma redução ou até anulação temporária do rendimento de uma lagoa.

Quando essas intromissões indevidas na rede de esgotos não podem ser eliminadas, as lagoas devem ser providas de caixa de alimentação com extravasor lateral para desviar, ao curso d'água receptor, as contribuições excedentes à capacidade de tratamento da instalação.

Para conter enxurradas, as lagoas devem ser dotadas de valas diversoras de águas pluviais, que deverão ser mantidas limpas e conservadas.

4.2.1.4 Evaporação

- a) A evaporação intensa da água de uma lagoa de estabilização poderá, teoricamente, produzir um aumento da salinidade no meio, com efeitos nocivos aos processos osmóticos nas paredes celulares dos microrganismos e ao equilíbrio biológico.
- b) Dos levantamentos climatológicos - temperatura, precipitação e evaporação - disponíveis no Brasil, verifica-se que a influência da evaporação na eficiência do funcionamento das lagoas pode ser considerada desprezível, à exceção de regiões quentes e áridas localizadas no Nordeste do País.
- c) Segundo Matsushita⁽²⁴⁾, o maior déficit, precipitação-evaporação, ocorre na região quente e árida do Nordeste, onde se pode avaliar uma variação média da concentração da matéria orgânica da ordem de 5% e uma variação de volume na lagoa de 10% do volume afluente do esgoto durante sua permanência na lagoa. Esses valores se verificam também nas regiões equatorial, central e centro-sul durante 4 a 5 meses do ano, julgando-se não afetar o rendimento das lagoas.

4.2.2 Fatores Físicos

Esses fatores estão, em geral, relacionados com o projeto das lagoas e podem ser controlados pelo homem.

4.2.2.1 Área superficial

O tamanho de uma lagoa de estabilização é governado pela área de espelho d'água adotada no projeto.

As lagoas anaeróbias são dimensionadas em função de taxas volumétricas ou a partir de tempos de detenção, previamente fixados. A experiência, em outros países, recomenda carga volumétrica de DBO de 0,19 - 0,24 kg DBO/m³.dia, retenções de 2 a 5 dias, lâminas d'água de 3 a 5 m e cargas orgânicas superficiais de 1.000 a 6.000 kg DBO/ha.dia.

No Estado de São Paulo, não existe nenhuma lagoa anaeróbia que opere próxima desses critérios. A prática da CETESB em avaliar essas lagoas constata que, para cargas superficiais acima dos 2.000 kg/DBO/ha.dia, o odor chega a ser incômodo e portanto, distâncias mínimas das habitações, em torno de 1.000 m, devem ser mantidas.

O responsável pelo sistema pode obter eficiências razoáveis de DBO com o emprego de altas taxas volumétricas e detenções mínimas de até 2 dias, porém, este aspecto não tem a menor importância para uma comunidade prejudicada pelos maus odores do processo.

A Tabela 4.8 apresenta as áreas mínimas necessárias, por habitante, para lagoas anaeróbias do Estado de São Paulo.

4.2.2.2 Altura da lâmina líquida

a) A profundidade da lâmina líquida numa lagoa de estabilização é definida previamente no projeto e não existem razões e rotinas operacionais para que ela seja alterada.

Todavia, ela varia particularmente nas seguintes condições:

- na fase inicial de enchimento da lagoa (ver item 6.2.1 do Capítulo 6);
- quando o sistema opera em ciclo sazonal com descarga controlada. Este caso é comum em lagoas tratando despejos industriais de estabelecimentos que funcionam sazonalmente. Nes

ses sistemas, a lâmina d'água deve ser mantida em 0,90 m;

- quando a taxa de infiltração no solo é a principal responsável pelo controle da profundidade das lagoas de estabilização, além da dificuldade de se manter o nível na lagoa, existe a possibilidade de contaminação do lençol freático. Para os solos que apresentam menos de 15% de argila, terra roxa estruturada ou legítima, considerados solos de permeabilidade excessiva, torna-se necessária uma impermeabilização do fundo da lagoa (0,40 m de argila compactada, revestimento asfáltico, lençol de polietileno entre duas camadas de 0,10 m de aterro selecionado) por ocasião da sua construção. Comprova-se que em solos não permeáveis, ocorre uma redução gradativa da taxa de permeabilidade do solo à medida que os vazios do solo são ocupados pelos materiais sedimentados (colmatagem), ocorrendo o impedimento total da infiltração quando da formação do lodo no fundo da lagoa (6 meses ou menos). Porém, se se desejar reduzir a taxa de percolação nesses tipos de solos, pode-se compactar, por ocasião da construção, uma camada de 5 a 10 cm de argila homogênea no fundo da lagoa.

TABELA 4.8 - Lagoas Anaeróbias - Áreas superficiais mínimas a meia profundidade da lâmina líquida necessárias por habitante no Estado de São Paulo

PARÂMETRO	CONTRIBUIÇÃO PER CAPITA DE ESGOTO (l/hab.dia)			
	130	150	170	190
área mínima (m ² /hab)	0,25	0,25	0,25	0,25
profundidade da lâmina líquida (m)	2,5 - 3,10	2,5 - 3,60	2,5 - 4,10	2,5 - 4,56
detenção (dias)	4,8 - 6,0	4,2 - 6,0	3,68 - 6,0	3,19 - 6,0
taxa volumétrica (kg DBO/dia.m ³)	0,08 - 0,0645	0,048 - 0,056	0,054 - 0,049	0,06 - 0,044

OBS.: (a) temperatura média da lagoa superior a 19°C
(b) DBO percapita: 50 g/hab.dia.

- b) A manutenção do nível mínimo de uma lagoa é necessária para impedir a exposição dos bancos de lodo à atmosfera, prevenindo, deste modo, a exalação de maus odores. Nas lagoas anaeróbias, a prática antiga era de se manter lâminas de 1,0 m, todavia, a tendência atual é de se construir unidades profundas (mínimo de 2,0 m), minimizando-se a emissão de odores, mantendo-se mais calor na massa líquida e dificultando-se a difusão do ar atmosférico na lagoa.

4.2.2.3 Mistura

A distribuição dos esgotos em uma lagoa, qualquer que seja o seu tipo, deve ser a mais uniforme para se utilizar, da melhor maneira, todo o volume da lagoa e aproximar-se à detenção real da teoricamente prevista em projeto.

Esse procedimento servirá para evitar correntes preferenciais, curto-circuitos (o líquido permanece na lagoa menos tempo que o necessário) e zonas mortas (regiões inativas em que o esgoto fica "parado").

Essas anormalidades podem ser visualizadas através da Figura 4.1. Por que a lagoa B é melhor que a lagoa A?

- a) projeto das entradas e saídas dos esgotos na lagoa: possui maior número de entradas e saídas possibilitando uma melhor distribuição dos esgotos pelas larguras de montante e jusante da lagoa; melhor posicionamento das saídas em relação às entradas, obrigando o esgoto a percorrer toda a lagoa em planta; os dispositivos de entrada estão colocados entre a superfície líquida e o fundo da lagoa, permitindo uma homogeneização vertical dos esgotos afluentes mais quentes que o líquido menos quente da lagoa e evitando o entupimento na saída da tubulação de entrada dos esgotos; os dispositivos de entrada não avançam mais que 2 m após a saia do talude suporte.
- b) formato da lagoa em planta; a lagoa B não apresenta "barrigas".
- c) a lagoa está locada de maneira que os ventos predominantes sopram da saída para a entrada da lagoa, permitindo uma melhor homogeneização do líquido afluente com o existente na lagoa.
- d) não apresenta crescimento descontrolado de vegetais dentro da lagoa que possam constituir obstáculos à circulação do líquido.

e) regularidade do fundo da lagoa; a lagoa B não tem "ilhas" (que podem ser do terreno natural ou decorrente de material sedimentado pela não existência de tratamento preliminar), seu fundo foi nivelado por ocasião da sua construção e, conseqüentemente, não existem zonas mortas no plano vertical.

Os curto-circuitos dentro das lagoas conduzem a vários problemas:

- a formação de espaços mortos;
- a redução da área efetiva de tratamento, com possível aparecimento de maus odores devido a "sobrecargas" não propositais, além da diminuição na eficiência dos esgotos.

4.2.3 Fatores Químicos

4.2.3.1 pH

O teste indica se uma lagoa está ácida ou alcalina. As lagoas anaeróbias necessitam de um ambiente ligeiramente alcalino para melhor desempenho do processo.

As lagoas anaeróbias, com tempos de detenção de 5 dias e com lâmina d'água de 3,0 m ou mais, têm funcionado de forma satisfatória, com predominância da fase metânica (pH ótimo de 7,0 - 7,2) sobre a fase ácida de formação de ácidos voláteis.

Se uma lagoa anaeróbia bem projetada, funcionando há mais de três meses, apresenta maus odores com grande intensidade e persistência, fatalmente ela está atrevesando uma fase de fermentação ácida.

4.2.3.2 Materiais tóxicos

A eventual presença de substâncias tóxicas no esgoto afluente das lagoas é um problema que, embora possa ser abrandado ou até mesmo anulado por uma operação bem dirigida, deve ser resolvido na fonte, ou seja, o operador deve notificar o problema ao Órgão Estadual de Controle de Poluição.

Cabe mencionar que as lagoas anaeróbias são excelentes sistemas de tratamento para remoção de metais através do processo de sedimentação que ocorre naturalmente.

4.2.3.3 Nutrientes

Vários elementos são necessários para as bactérias crescerem e se multiplicarem, porém, o nitrogênio, o fósforo e o carbono são os requeridos em maior quantidade. Normalmente, no esgoto doméstico esses elementos não constituem fatores limitantes para o crescimento desses organismos no processo biológico.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE UM FUNCIONAMENTO NORMAL DE LAGOAS ANAERÓBIAS

- a) O nível de odor é suportável para um visitante e não mais perceptível a uma certa distância da unidade. A distância e o grau de percepção são aspectos qualitativos, não mensuráveis, que variam de um indivíduo para outro. Habitualmente, quem lida com a instalação perde essa sensibilidade ou acostuma-se com os odores típicos do processo.
- b) Predomina a cor acinzentada escura a preta, característica de um processo anaeróbio.
- c) No efluente da instalação, são perceptíveis as emanações de gases "inodoros" como metano e gás carbono.
- d) O pH do líquido e da camada de lodo mantém-se levemente alcalino (7,0 a 7,6) ou numa faixa mínima aceitável de 6,8 a 7,2 ou 7,0 a 7,2.
- e) As temperaturas do líquido e da camada de lodo não sofrem grandes oscilações e a mínima do lodo deve estar, preferencialmente, acima dos 20°C.
- f) Ausência de oxigênio em todo o volume ou com uma tênue camada da coloração esverdeada (existência de algumas espécies de algas mais resistentes) na superfície.
- g) Em lagoas profundas, a liberação de bolhas de gás ou placas de lodo na superfície é visivelmente menor que em unidades rasas e predominam nas áreas de influência dos tubos de alimentação.
- h) Ocorrência de uma camada espessa de espuma que atenua os maus odores e armazena o calor. Ela será tanto maior (em extensão e espessura) quanto maior a carga orgânica aplicada.

i) Ocasionalmente, pode-se perceber uma coloração rósea na superfície líquida. Indica a presença de bactérias fotossintéticas redutoras e um estágio de uma lagoa anaeróbia moderadamente carregada.

j) Inexistência de vegetais no interior e nos taludes internos da lagoa evitando-se, assim, o aparecimento de insetos.

As principais determinações e observações que ajudarão a verificar a eficiência do tratamento estão apresentadas no item 7.4.3 do Capítulo 7.

REVOGADA

CAPÍTULO 5

LAGOAS FACULTATIVAS

5.1 COMO SÃO TRATADOS OS ESGOTOS EM LAGOAS FACULTATIVAS

As lagoas facultativas, em relação às lagoas anaeróbias, são construídas com grandes áreas superficiais, pequenas alturas de lâmina d'água (1,00 a 2,00 m) e períodos de detenção de 15 (quinze) a 35 (trinta e cinco) dias.

Quando o esgoto bruto ingressa em uma lagoa facultativa, ocorrem os processos anteriormente descritos nos itens 3.2 e 3.3 que, resumidamente, são os seguintes:

- a) Os sólidos sedimentáveis se acumulam no fundo da lagoa, constituindo uma camada de lodo anaeróbia. Os microrganismos, ocupando esta região, transformam os compostos orgânicos complexos (hidratos de carbono) através da fermentação ácida e metânica. Os ácidos orgânicos, subprodutos da fase ácida, são transformados em metano, dióxido de carbono, novas células de bactérias e energia.

Medições de acúmulo de lodo, feita por Senra da Silva⁽³³⁾ em duas lagoas facultativas secundárias (precedidas por anaeróbias) no Estado de São Paulo, com 8 (oito) e 3 (três) anos de operação, revelaram que, na lagoa mais antiga, a altura média da camada de lodo foi de 9,78 cm, levando a uma taxa anual de acúmulo de lodo de 1,22 cm/ano; na lagoa, com 3 anos de operação, a altura média de lodo foi de 8,33 cm, o que levou à formação de 2,77 cm/ano de lodo.

Nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, constam os resultados analíticos da composição média de lodos acumulados e amostrados nos diferentes recipientes colocados nas lagoas.

TABELA 5.1 - Dados operacionais levantados da sedimentação de lodos na lagoa facultativa secundária do Município de Mairiporã (SP)

CARACTERÍSTICAS	1974	1981
Vazão (l/s)	5,0	21,0
Carga de aplicação superficial (kg DBO/ha.dia)	56	168
Carga de aplicação volumétrica (kg DBO /m ³ .dia)	-	-
Número de pontos amostrados	12	
Valor máximo encontrado (cm)	21	
Altura média da camada de lodo (cm)	9,78 *	
Acúmulo máximo por ano (cm/ano)	2,0 **	
Acúmulo médio de lodo por ano (cm/ano)	1,22	
Prof. lâmina de operação (m)	1,0	

* Média obtida excluindo 3 pontos amostrados que deram altura de lodo 16, 12 e 21 cm.

** Obtido, considerando a média aritmética dos três pontos que apresentaram a maior altura de lodo (16, 12 e 21 cm).

FONTE: Ref. (33)

TABELA 5.2 - Características dos lodos acumulados e amostrados na lagoa facultativa secundária do Município de Mairiporã (SP)

Coleta 06.06.81

DETERMINAÇÕES	UNIDADE	Pontos 11, 12, 13	Pontos 14, 15, 16	Pontos 17, 18, 19	Pontos 20, 21, 22
pH		6,7	6,6	6,9	6,8
Sólidos totais	mg/l	113.480	54.960	54.120	57.120
Sólidos voláteis	mg/l	23.340	14.120	13.820	14.980
Sólidos fixos	mg/l	90.140	40.840	40.300	42.140
Alcalinidade	mg/l	120	120	120	120
Acidez volátil	mg/l	45	30	30	45
Lodo sedimentado (altura média)	cm	7,3	16,3	10,3	11,6
Profundidade da lagoa	m	0,85	0,85	0,85	0,85

FONTE: Ref. (33)

TABELA 5.3 - Dados operacionais levantados da sedimentação de lodos - Lagoa facultativa secundária do Município de Tatuí (SP)

CARACTERÍSTICAS	1977	1980
Vazão (l/s)	-	39,0
Carga de aplicação superficial (kg DBO/ha. dia)	-	141
Número de pontos amostrados	7	
Altura de lodo depositado (cm)	8,33 *	
Acúmulo médio por ano (cm/ano)	2,77	
Altura máxima encontrada (cm)	16	
Prof. da lâmina d'água (m)	1,20	

* Valor médio obtido, excluindo o ponto com altura de 16 cm.

FONTE: Ref. (33)

TABELA 5.4 - Características dos lodos acumulados e amostrados na lagoa facultativa secundária de Tatuí (SP)

Coleta 02.10.82

PONTOS DE AMOSTRAGEM DETERMINAÇÕES	18	20	22	23	25	27	30
Altura da camada de lodo (cm)	8	10	16	6	9	8	9
pH	6,5	6,7	6,4	6,3	6,6	6,3	6,3
Ácidos voláteis (mg/l)	50	40	20	10	30	50	30
Alcalinidade total (mg/l)	150	250	110	260	380	140	260
Sólidos totais (mg/l)	3.670	3.450	3.770	3.220	3.380	5.560	3.660
Sólidos totais fixos (mg/l)	1.600	1.340	1.620	1.240	1.370	2.540	1.500
Sólidos totais voláteis (mg/l)	2.070	2.110	2.150	1.980	2.010	3.020	2.160
Temperatura do lodo (°C)	24	24	24	24	24	24	24
Altura da lâmina d'água (m)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

FONTE: Ref. (33)

b) Acima da camada anaeróbia existe uma zona facultativa, o que significa que o oxigênio molecular não estará disponível nesta região todo o tempo. Geralmente, a zona é aeróbia durante as horas do dia e anaeróbia durante a noite.

c) Sobre a camada facultativa existe uma zona aeróbia que tem oxigênio molecular presente todo o tempo. Este oxigênio é fornecido principalmente pelas algas e, em menor proporção, pela difusão na interface ar/líquido.

As algas, na presença de luz solar e através do seu processo fotossintético, utilizam o dióxido de carbono (CO_2), resultante de oxidação bacteriana, como fonte de carbono para a síntese de novas algas, liberando oxigênio na forma livre. Por outro lado, esse oxigênio é utilizado pelas bactérias na oxidação bioquímica da matéria orgânica, em especial na transformação de carboidratos em CO_2 o qual novamente é aproveitado pelas algas na fotossíntese.

Parte da matéria orgânica proveniente do esgoto é transformada em microrganismos (algas, bactérias, rotíferos, protozoários) e outra parte em compostos mais estáveis.

d) O efluente de uma lagoa de estabilização facultativa terá uma cor verde acentuada pela presença de algas; possuirá, também, outros organismos vivos como microcrustáceos e rotíferos, elevando o teor de oxigênio dissolvido e não possuindo, praticamente, sólidos em suspensão sedimentáveis.

Como já mencionado anteriormente (item 3.2.2), uma das grandes deficiências dessas lagoas é a quantidade de algas presentes no efluente, que contribuem para o aumento dos sólidos em suspensão.

Para reduzir a quantidade de algas no efluente, é recomendável a retirada do líquido dessas lagoas, a uma profundidade mínima de um terço da lâmina d'água, contada à partir da superfície líquida.

Um resumo da vida biológica descrita nos itens a, b, c e d está indicada na figura 5.1. Observa-se que as algas e bactérias anaeróbias e/ou facultativas vivem numa associação de mútuo benefício (simbiose), conforme representada na Figura 5.2.

e) Como já comentado no item 4.1, alínea d, não existem, a priori, valores absolutos de qualidade boa ou má de efluentes de lagoas de estabilização.

Tratando-se de associações de lagoas anaeróbia-facultativa secundária ou de facultativas primária-secundária, alguns valores observados de eficiências e de qualidade do efluente de alguns parâmetros, constam nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9. A Tabela 5.10 apresenta a comparação de alguns resultados extremos levantados em algumas lagoas facultativas primárias e secundárias dos Estados de São Paulo e Paraná.

Março de 1972

PARÂMETROS	MÁXIMO			MÉDIO			MÍNIMO		
	A.A	E.A	E.F.	A.A	E.A	E.F	A.A	E.F	A.A
Temperatura ambiente, °C	26,0	26,0	27,0	23,3	23,3	23,3	18,5	18,5	18,5
Temperatura esgoto, °C	24,5	28,0	26,0	23,4	23,9	23,9	22,0	21,0	21,0
pH	8,7	8,0	9,2	7,2	7,2	7,5	6,8	6,8	6,5
Alc.total, mg/l	202	136	94	173	104	82	150	80	70
Gás carbônico, mg/l	67	33	13	35	18	6	18	2	3
DBO, mg/l	680	450	200	465	174	103	360	40	50
Cloretos, mg/l	54	38	44	47	34	35	37	32	32
Cálcio, mg/l	18,0	18,0	18,0	15,3	13,5	12,3	12,0	10,0	10,0
Nitrog.amoniaco, mg/l	49,6	21,0	11,8	40,5	14,6	8,7	17,5	7,0	6,3
Nitrog. nitroso (N), mg/l	0,078	0,072	0,080	1,050	0,030	0,050	0,022	0,019	0,026
Nitrog.nítrico (N), mg/l	0,490	0,34	0,79	0,185	0,198	0,315	0,045	0,035	0,100
DQO, mg/l	1538,4	923,0	513,0	1132,0	613,0	311,0	726,0	302,0	109,0
Sólidos totais, mg/l	884	300	430	557	258	232	337	215	116
Sólidos totais fixos, mg/l	400	131	134	194	84	71	109	24	06
Sólidos totais voláteis, mg/l	662	246	220	226	165	170	195	108	44
Sólidos suspensos, mg/l	380	164	224	253	86	78	90	40	32
Sólidos dissolvidos, mg/l	573	245	249	295	164	166	173	56	83
Sólidos sedimentáveis, ml/l	12,0	-	-	6,20	-	-	1,5	-	-
Oxigênio dissolvidos mg/l	-	-	15,7	-	-	7,6	-	-	1,1

A.A. = Afluente Anaeróbio

E.A. = Efluente Anaeróbio

E.F. = Efluente Facultativa

FONTE: Ref. (32)

TABELA 5.6 - Resultados operacionais das lagoas de estabilização de Mairiporã - janeiro de 1976 a março de 1977

LAGOA ANAERÓBIA							
PERÍODO	Vazão média afluente (l/s)	Detenção (dias)	Carga Organ. (kg DBO/ha dia)	DBO afluente (mg/l)	DBO efluente (mg/l)	Redução DBO (%)	
1º trimestre de 1976	8,5	10,4	919	320	50	84,37	
2º trimestre de 1976	13,0	6,8	1.580	360	115	68,05	
3º trimestre de 1976	13,0	6,8	1.318	300	145	52,66	
4º trimestre de 1976	13,8	7,4	1.013	250	60	76,00	
1º trimestre de 1977	18,0	4,9	1.557	260	55	78,84	
LAGOA FACULTATIVA							
1º trimestre de 1976	8,5	15,8	31,5	50,0	45	10,0	
2º trimestre de 1976	13,0	10,3	110,80	115,0	65	43,47	
3º trimestre de 1976	13,0	10,3	138,12	145,0	45	68,96	
4º trimestre de 1976	12,0	11,2	53,36	60,0	40	33,34	
1º trimestre de 1977	18,0	7,5	73,37	55	40	27,27	

FONTE: Ref. (30)

TABELA 5.7 - Resultados operacionais das lagoas de estabilização de Mairiporã - janeiro de 1976 a março de 1977

PARÂMETROS	UNIDADE	1º trimestre 1976			3º trimestre 1976		
		A.A	E.A.	E.F	A.A	E.A	E.F
Temperatura esgoto	°C	24,5	25,0	27,0	19,5	19,5	19,0
pH	-	6,5	6,8	8,4	6,8	6,8	8,0
Sólidos totais	mg/l	695	304	331	531	290	276
Sólidos voláteis	mg/l	397	165	209	326	166	163
Sólidos suspensos	mg/l	333	44	115	218	35	66
Sólidos decantáveis	ml/l	5,0	0,1	0,1	4,3	0,1	0,1
DBO	mg/l	320	50	45	300	145	45
DQO	mg/l	525	-	142	460	-	143
Oxig.dissolvido	mg/l	-	-	16,8	-	-	14,3

A.A = Afluente Anaeróbio

E.A = Efluente Anaeróbio

E.F = Efluente Facultativo

O.D : Determinado às 14 horas.

TABELA 5.8 - Determinação da série nitrogenada e fosfato solúvel nas lagoas de estabilização de Mairiporã (SP) - maio 1977

PARÂMETROS	AFLUENTE ANAERÓBIO				EFLUENTE ANAERÓBIO				EFLUENTE FINAL			
	MAX	MED	MIN		MAX	MED	MIN		MAX	MED	MIN	
Fosfato solúvel (mg/l P)	8,0	6,6	5,8		6,4	4,9	4,3		2,2	2,0	1,7	
Nitrog. amoniacal (mg/l N)	48,6	43,2	35,0		36,8	35,9	35,2		25,0	23,3	21,6	
Nitrog. nitrato (mg/l N)	0,11	0,06	0,02		0,08	0,05	0,03		0,09	0,07	0,06	
Nitrog. nitrito (mg/l N)	0,005	0,003	0,001		0,003	0,001	<0,001		0,038	0,004	0,000	

FONTE: Ref. (32)

TABELA 5.9 - Resultados operacionais de duas lagoas facultativas associadas em série - Santa Fé do Sul - agosto de 1983

PARÂMETROS	A.F.P.	E.F.P.	E.F.S.	RED. F.P. (%)	RED. F.P. (%)	RED. GLOBAL (%)
DBO, mg/l	295	25	20	91,5	20,0	93,2
DQO, mg/l	637	147	108	76,9	26,5	83,0
Sólidos totais, mg/l	572	315	260	45,0	17,5	54,5
Sólidos totais fixos, mg/l	257	228	177	11,3	22,4	31,1
Sólidos totais voláteis, mg/l	315	87	83	72,4	4,6	73,6
Sólidos totais suspensos, mg/l	185	18	27	90,3	-	85,4
. suspensos fixos, mg/l	52	12	16	76,9	-	69,2
. suspensos volátil, mg/l	133	6	11	95,5	-	91,7
Sólidos totais dissolvidos, mg/l	387	297	233	23,3	21,5	39,8
. dissolvidos fixos, mg/l	205	216	161	-	25,5	21,5
. dissolvidos voláteis, mg/l	182	81	72	55,5	11,1	60,4
Fosfato total, mg/l	4,75	3,5	2,0	26,3	42,8	57,9
Fosfato (orto), mg/l	3,87	3,0	1,25	22,5	58,3	67,7
Nitrogênio total, mg/l	40,0	32,5	12,0	18,8	63,1	70,0
Coli fecal NMP/100 ml	$3,5 \times 10^7$	$7,9 \times 10^4$	$2,3 \times 10^3$	-	-	99,99

A.F.P. = Afluente Facultativo Primário

E.F.P. = Efluente Facultativo Primário

E.F.S. = Efluente Facultativo Secundário

* secos a 103 - 105°C

FONTE: Ref. (33)

TABELA 5.10 - Comparação de resultados operacionais extremos levantados em algumas lagoas facultativas primárias e secundárias dos Estados de São Paulo e Paraná

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	FAIXA DE VARIAÇÃO	
	LAGOA FACULTATIVA ÚNICA	LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA
Esgoto afluente	esgoto bruto	efluente de lagoa anaeróbia
Temperatura da lagoa (°C)	22,4 - 17,9	21,6 - 25,2
Carga volumétrica (kg DBO/m ³ .dia)	0,0089 - 0,033	0,0025 - 0,0213
Tempo de detenção (dias)	28,4 - 11,6	39,9 - 8,6
Prof.lâmina d'água (m)	1,0 - 1,5	2,0 - 1,5
DBO de esgoto afluente(mg/l)	251,6 - 382	101,0 - 158,0
DBO de esgoto efluente(mg/l)	24,0 - 158	29,0 - 53,0
Redução de DBO (%)	90,0 - 69	72,0 - 67,0
Presença de algas	MUITA - POUCA	SIM - SIM
Presença de oxigênio dissolvido	MUITO - POUCO	SIM - SIM
Exalação de odor	NÃO - PROVÁVEL	NÃO - PROVÁVEL
Carga superficial (kg DBO/ha.dia)	90 - 500	50 - 320
Características prováveis do efluente:		
Condição mais favorável	. cor esverdeada, com sólidos em suspensão e sem odor	. cor esverdeada, com sólidos em suspensão e sem odor
Condição mais desfavorável	. cor acinzentada, às vezes com poucas algas e com exalação de odor	. cor verde pálido, com poucas algas e tendência à anaerobiose

OBS.: O primeiro valor da faixa de variação relaciona-se com condições operacionais mais favoráveis observadas no levantamento.

FONTE: adaptado da Ref. (20)

5.2 FATORES QUE AFETAM O FUNCIONAMENTO DAS LAGOAS FACULTATIVAS

5.2.1 Fatores Naturais Não Controláveis

São os parâmetros ou fatores não controláveis pelo homem e estão representados por fenômenos meteorológicos e por aquelas variáveis locais, como a infiltração e as características dos esgotos a serem tratados.

5.2.1.1 Ventos

- a) Nas lagoas com grandes espelhos d'água, maiores que 10 ha, a formação de ondas, pela ação dos ventos, pode ser erosiva aos taludes internos. Para evitar tais efeitos, os mesmos devem ser protegidos, 30 cm abaixo e acima dos níveis d'água mínimos e máximos de operação.
- b) Quando o oxigênio dissolvido nas lagoas é menor do que a concentração do oxigênio dissolvido de saturação, a ação dos ventos contribui para a introdução de oxigênio do ar na massa líquida.
- c) Os ventos tem uma especial importância para as lagoas na homogeneização da massa líquida, permitindo um maior contato do esgoto afluente com os microrganismos nela existentes. Auxiliam na movimentação das algas, principalmente das espécies desprovidas de movimento próprio e consideradas grandes produtoras de oxigênio, como as algas verdes do gênero Chrorella.
- d) Quando da ocorrência da estratificação térmica nas lagoas, estabelece-se um termoclima pronunciado (região onde predominam os maiores gradientes de temperaturas) e as algas não móveis podem se tornar mais densas que o meio líquido das camadas superficiais mais aquecidas, e gradativamente, irem afundando, saindo da zona fótica e perdendo, conseqüentemente, suas chances de sobrevivência.
- e) A turbulência provocada pelo vento pode também favorecer a formação de curto-circuitos nas lagoas. Recomenda-se que, na localização dos dispositivos de entrada e saída dos fluxos, a direção dos ventos predominantes ocorra do efluente para o afluente.

5.2.1.2 Temperatura

É um parâmetro incontornável e de grande importância para o bom funcionamento de uma lagoa de estabilização. A temperatura está relacionada com a radiação solar e afeta a velocidade da fotossíntese e a velocidade do metabolismo das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos.

- a) Nas temperaturas mais baixas, a concentração de oxigênio dissolvido na massa líquida das lagoas tende a ser maior.
- b) A atividade biológica decresce com a temperatura e pode-se prever grosseiramente que uma queda de 10°C na temperatura reduzirá a atividade microbiológica pela metade.
- c) Com relação à digestão da camada de lodo, a atividade de fermentação não ocorre significativamente em temperaturas abaixo de 17°C e aumenta de quatro vezes em atividade para cada 5°C de elevação de temperatura entre 4°C e 22°C . A partir de 30°C , a fermentação anaeróbia do lodo intensifica a tal ponto que os gases produzidos poderão, em lagoas de 1 a 2 m de lâmina líquida, arrastar à superfície placas de lodo da camada do fundo.
- d) A temperatura influi diretamente no predomínio de uma espécie de alga sobre outra e, em consequência, sobre o oxigênio fotosintético produzido.

Segundo W.J. Oswald, as algas podem se desenvolver bem numa faixa ampla de temperatura que varia dos 4°C até os 40°C . A produção ótima de oxigênio ocorre em torno dos $20 - 25^{\circ}\text{C}$. A temperaturas próximas dos 35°C , a atividade fotossintética das algas decresce, as Chlorophytas (algas verdes) tendem a diminuir ou desaparecer e as Euglenophytas (Euglenas) predominam. Acima dos 35°C , prevalecem as Cyanophytas (algas azuis), particularmente as Oscillatoriales.

- e) Os melhores rendimentos da lagoa de estabilização facultativa ocorrem quando se tem uma boa atividade de radiação solar (dia ensolarado, céu sem nuvens), temperatura ambiente acima de 20°C e ventos moderados.
- f) Mudanças bruscas ou repentinas na temperatura podem acarretar problemas de curta duração nas lagoas facultativas, tais como:
 - uma súbita elevação da temperatura provocará: um rápido aumento das atividades das bactérias aeróbias e facultativas,

uma multiplicação do número dessas bactérias e, por conseguinte, um maior consumo de oxigênio que poderá não ser suprido pelas algas, muito embora ocorra também um desenvolvimento dessas algas. Assim, ocorrerá o surgimento de condições anaeróbias em alguns pontos da lagoa e o aparecimento de um efluente turvo;

- uma brusca diminuição na temperatura poderá cessar as atividades das algas, com sedimentação parcial das mesmas, o que acarretará um clareamento da coloração esverdeada da lagoa, acompanhado de uma diminuição da eficiência da lagoa;
- com relação à qualidade do efluente, tem-se verificado que nos meses mais frios há um aumento na concentração da amônia e fósforo e uma diminuição nos sólidos em suspensão. Todos esses aspectos estão intimamente relacionados com o decréscimo da atividade das algas.

g) Os comentários feitos no item 4.2.1.2, Cap. 4 sobre a temperatura do líquido de uma lagoa são também válidos para as lagoas facultativas. A Fig. 5.3 apresenta um exemplo da variação horária da temperatura em diferentes profundidade de uma lagoa facultativa.

5.2.1.3 Precipitações pluviométricas

Valem os mesmos comentários feitos no item 4.2.1.3, do Cap. 4.

5.2.1.4 Evaporação

A evaporação poderá provocar uma redução da altura da lâmina da água a níveis desaconselháveis para a operação, propiciando o desenvolvimento de vegetação emergentes e um menor tempo de detenção.

Valem todos os comentários feitos no item 4.2.1.4, do Cap. 4.

5.2.1.5 Radiação solar

Em contribuição para a produção de oxigênio através da fotossíntese das algas, a quantidade de energia de luz solar é indispensável para a operação efetiva das lagoas de estabilização.

a) A porcentagem da luz solar disponível anual varia por todo o país e é governada pela latitude, altitude e cobertura das nuvens. A quantidade de luz solar disponível auxilia a determi

nar a área e a profundidade necessárias para uma operação adequada.

A energia utilizada pelas algas provém principalmente da parte visível do espectro da radiação solar, particularmente entre comprimentos de onda ou cor de 4.000 a 7.000 Angstroms.

Apenas de 2 a 7% dessa radiação solar visível são utilizáveis pelas algas e elas não necessitam de exposição contínua à energia solar para fotossintetizarem.

- b) Deve-se também ter em mente que a taxa ou velocidade da fotossíntese não aumenta ininterruptamente à medida que aumenta a intensidade da luz (Figura 5.4) Cada alga apresenta uma taxa de crescimento e se desenvolve enquanto a intensidade de luz a que está sendo submetida não supere um determinado valor, denominado intensidade da saturação. Para muitas algas, uma intensidade de luz maior que $20.0 \text{ ergs/cm}^2 \cdot \text{seg}$ (~ 480 velas) afeta adversamente o seu crescimento.

A Figura 5.5 ilustra a variação da velocidade de fotossíntese em função da temperatura e radiação solar e de sua observação pode-se comentar o seguinte: para baixas intensidades luminosas (tempo nublado) tem-se uma velocidade baixa de fotossíntese; a partir de um determinado ponto (céu límpido e sem nuvens), esta velocidade tende a aumentar; a partir de um outro ponto, com intensidade de luz acima da anterior, a velocidade da fotossíntese se estabiliza, mesmo que ocorra um aumento da radiação solar.

Assim, para baixas intensidades luminosas, a luz é o fator limi tante para a produção de oxigênio de uma lagoa, ao passo que para intensidades luminosas elevadas (sol quente durante várias horas), a temperatura passa a ser o fator condicionante para ação fotos sintética.

- 1
- PROLOGADA
- c) A profundidade da penetração da radiação solar determina qual o volume da lagoa que participa na produção de oxigênio e, portanto, a profundidade ótima de operação. Quando a superfície líquida apresenta-se de forma turbulenta em decorrência da ação do vento, as perdas de radiação, por reflexão, podem superar a valores de 30%. A densidade de algas, que varia de estação e de lagoa para lagoa, também auxilia a condicionar a profundidade de penetração da luz e a sua intensidade.
- d) De um modo geral, boas condições de crescimento de algas e de dispersão de oxigênio acontecem nos primeiros 0,60 m de profundidade da lagoa. A produção de oxigênio, nessa zona, não supre necessariamente a demanda de oxigênio das camadas inferiores a esta, sem a mistura vertical induzida pela ação dos ventos. Todavia, essa mistura vertical pode levar aos inconvenientes apontados no item 5.2.1.1.

5.2.2 Fatores Físicos

Estes fatores estão, de um modo geral, relacionados com o projeto das lagoas e podem ser controlados pelo homem.

5.2.2.1 Área superficial

Principalmente nas lagoas facultativas, a área de espelho d'água adotada no projeto é definida pela carga de esgotos nelas aplicada. A carga orgânica aplicada varia ao longo dos anos de operação de uma lagoa em função das vazões e contribuições de esgotos que ingressam no sistema.

- a) No início de funcionamento de uma lagoa facultativa, primária ou secundária, quando o número de habitantes contribuintes é pequeno, o sistema opera com baixas taxas de aplicação superficial e, em consequência, grandes tempos de detenção são disponíveis. Nesse período, normalmente, a lagoa apresenta excelentes rendimentos na remoção de DBO e coliformes fecais, predominam durante o dia altos valores de pH (9 a 11), a população presente de seres vivos é bastante diversificada e aparecem certos predadores como os protozoários e as Daphnias, que se alimentam das algas e bactérias e que são mais comuns em lagoas de "polimento".
- b) Por outro lado, lagoa facultativa excessivamente carregada permite um crescimento rápido de bactérias, o que implica num aumento da demanda de oxigênio que pode não ser suprida pela ação das algas ou vento. Isso resulta na morte das algas e no declínio do oxigênio dissolvido, condições estas que levam à anaerobiose da lagoa, à produção de odor e à redução da eficiência global do sistema.
- c) Não é raro, também, constatarem-se efeitos adversos no desempenho de uma lagoa facultativa em regiões onde predominam elevadas temperaturas de verão (acima dos 30°C). Uma floração excessiva de certas espécies de algas do grupo cianofíceas (algas azuis), termoclimas pronunciados podem se estabelecer e, em consequência a passagem da luz é dificultada ou impedida e a mistura vertical - pela ação dos ventos - das camadas superficiais e profundas da lagoa não acontece. A lagoa passa, então, por distúrbios, com má distribuição ou produtividade de oxigênio e apresenta um efluente final com altas concentrações de

sólidos em suspensão, DBO e coliformes fecais.

- d) Com base nessas condições, pode-se concluir que a máxima carga orgânica superficial em uma lagoa de estabilização facultativa - primária ou secundária - deve ser estabelecida para se as segurarem duas condições essenciais:
- a operação se processe sem despreendimento de maus odores; para isso, a demanda de oxigênio (pelas bactérias e algas) não deve exceder a capacidade de reoxigenação resultante da fotossíntese e da reaeração superficial;
 - a qualidade do efluente, obtida numa primeira lagoa, governe o tamanho da lagoa subsequente, isto é, quanto menos eficiente for a remoção de DBO na célula primária, maior será o tamanho de uma ou mais lagoas subsequentes.

Evidentemente, seria necessário que se dispusesse de valores observados de ambos os requisitos nas diferentes regiões do Estado. Por outro lado, como essas duas condições estão intrinsecamente relacionadas com a temperatura média da lagoa, dado nem sempre disponível, e como a variável temperatura depende de outros, tais como, radiação solar e sua intensidade, temperatura do esgoto afluente, perda de energia de radiação por reflexão na própria lagoa, e dimensões da lagoa torna-se, no atual estágio de conhecimento, impraticável adotar a carga máxima aplicável numa lagoa e a correspondente qualidade esperada para o efluente.

Todavia, com a experiência adquirida pelos vários profissionais da CETESB em operar tais sistemas no Estado de São Paulo e objetivando a praticidade do presente manual, podem-se adotar no dimensionamento dos diferentes tipos de lagoas de estabilização, as áreas superficiais mínimas a meia profundidade da lâmina por habitante constantes na Tabela 5.11. Os valores propostos não levam a áreas superficiais de espelho d'água exagerados e podem ser empregados, com segurança, para as temperaturas médias das lagoas a partir dos 19°C.

Naturalmente, no projeto das lagoas de estabilização, esses valores oscilarão para mais ou para menos, de acordo com a cinética a ser empregada no dimensionamento e temperatura do líquido no mês mais crítico do ano na lagoa.

TABELA 5.11 - Áreas superficiais mínimas a meia profundidade da lâmina líquida necessárias por habitante no Estado de São Paulo

TIPO DE SISTEMA	CONTRIBUIÇÃO PER CAPTA DE ESGOTO (1/hab.dia)			
	130	150	170	190
1. Lagoa Facultativa primária (a)				
. área mínima (m ² /hab)	2,3	2,3	2,3	2,3
. prof.lâmina líquida (m)	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0
. detenção(dias)	17,7 - 35,4	15,3 - 30,6	13,5 - 27,0	12,1 - 24,2
2. Lagoa Facultativa secundária (b)				
. área mínima (m ² /hab)	1,3 - 0,87	1,5 - 1,0	1,7 - 1,13	1,9 - 1,27
. prof.lâmina líquida (m)	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5
. detenção(dias)	10,0	10,0	10,0	10,0
3. Lagoa Maturação				
. área mínima (m ² /hab)	0,65 - 0,54	0,75 - 0,62	0,85 - 0,71	0,95 - 0,79
. prof.lâmina líquida (m)	1,0 - 1,20	1,0 - 1,20	1,0 - 1,20	1,0 - 1,20
. detenção(dias)	5,0	5,0	5,0	5,0

OBS.: (a) Temperatura média da lagoa superior a 19°C

(b) Admitindo eficiência de remoção de DBO de 50% na célula anaeróbia

e) Existem, também, evidências de que as cargas orgânicas aplicadas têm efeito direto nas espécies das algas dominantes. Normalmente, nas lagoas primárias mais carregadas (maior que 300 kg DBO/ha.dia) é menor a diversidade do fitoplâncton, predominando aquelas mais resistentes como as do gênero Chlamydomonas. Em lagoas secundárias, onde as cargas orgânicas aplicadas são mais baixas, as populações e as espécies de algas são mais numerosas, sendo que as do gênero Chlorella, que estão mais associadas a essas condições, predominam na zona fótica.

Tem-se verificado também que mudanças repentinas na aplicação das cargas podem afetar seriamente o número de algas, inclusive daquelas espécies mais resistentes.

5.2.2.2 Altura da lâmina líquida

Valem os comentários feitos no item 4.2.2.2 do Cap. 4.

Nas lagoas facultativas, a profundidade mínima recomendada é de 1,0 m e nas lagoas de maturação, como se intenciona tirar maior benefício da radiação solar na destruição de organismos patogênicos e praticamente não permitir a deposição de lodo, a mínima e a máxima lâmina d'água oscilam em torno de 1,0 m.

5.2.2.3 Mistura

- a) Valem todos os comentários feitos no item 4.2.2.3 do Cap. 4.
- b) A instalação de cortinas de lona plástica pode ser empregada em grandes lagoas, especialmente nas facultativas, com alguns propósitos:
- obter-se melhor tratamento, dirigindo o fluxo da água afluente cuidadosamente através da lagoa e aumentando-se, em consequência, a utilização da área de espelho d'água;
 - quando instaladas na forma de chicanas, semelhantes as de uma câmara de contato de cloro, o fluxo espiral em cada passagem aumenta a mistura e tende a quebrar ou prevenir qualquer tendência de estratificação.

O espaçamento lateral e o comprimento das cortinas devem ser especificados no projeto, de maneira que a área da seção transversal do fluxo seja constante tanto quanto possível.

A Figura 5.7 mostra dois esquemas possíveis de emprego de cortinas em lagoas de estabilização, e a Figura 5.8 apresenta de talhes de fixação das lonas plásticas.

5.2.3 Fatores Químicos

Os principais fatores químicos que afetam a operação normal de uma lagoa facultativa são:

- pH;
- materiais tóxicos;
- nutrientes e
- oxigênio dissolvido.

5.2.3.1 pH

O teste indica se uma lagoa está ácida ou alcalina. As lagoas facultativas necessitam de um ambiente ligeiramente alcalino para melhor desempenho do processo.

- a) No caso das lagoas facultativas, o operador poderá verificar que, se o efluente possui uma coloração verde bastante acentuada, certamente o pH do efluente estará na faixa alcalina, ao passo que, se este tem uma tonalidade verde amarelada, indicará uma tendência a acidificação. Deve-se atentar que a cor não se relaciona diretamente com o pH quando a lagoa recebe despejos industriais, principalmente de indústrias têxteis.
- b) O pH numa lagoa facultativa varia ao longo de todo o dia (ver Figura 5.9) e nas diferentes camadas do líquido, prevalecendo na superfície valores mais elevados. A causa dessa contínua variação é o consumo de gás carbônico pelas algas.

Normalmente, nas primeiras horas da manhã os valores de pH são baixos e mais elevados entre as 14 e 16 horas, quando as algas estão em plena atividade fotossintética. À noite, o pH volta a declinar sensivelmente porque cessa o consumo de CO_2 pelas algas, enquanto a produção de CO_2 pelas bactérias se mantém.

A elevação do pH (para valores maiores que 8) pelas algas tem alguns efeitos benéficos tais como a precipitação de certos compostos, como o fosfato de cálcio, e outros adversos como a dissociação do nitrogênio na forma de NH_4^+ , tóxico para alguns macroinvertebrados (Daphnias) e peixes.

- c) O pH tem também um efeito na diminuição ou mortandade das bactérias entéricas. A E.Coli pode não sobreviver em valores de pH acima de 9,0. Todavia, essa faixa de pH parece estar acima

da tolerável pelas bactérias responsáveis pelos processos de biodegradação da matéria orgânica.

- d) Há prováveis evidências de que nas lagoas com valores de pH acima de 8, as concentrações de amônio (NH_4^+) inibem a fotossíntese e o crescimento de várias espécies de algas, como as do gênero Scenedesmus. Tal fato pareceu evidente nas lagoas de estabilização de Santa Fé do Sul, operadas sob orientação da CETESB⁽³⁸⁾.

5.2.3.2 Materiais tóxicos

Como já mencionado no item 4.2.3.2 do Cap.4, a eventual presença de substâncias tóxicas no esgoto afluente das lagoas deve ser resolvido na fonte, ou seja, o operador deve notificar o Órgão Estadual de Controle de Poluição sobre o problema.

Comparadas aos sistemas convencionais de tratamento biológico dos esgotos, as lagoas de estabilização têm demonstrado suportar cargas elevadas de substâncias tóxicas, principalmente se estas cargas não são lançadas bruscamente, isto é, quando existe um período de aclimatação dos microrganismos presentes na lagoa. Experiên

cias realizadas em Israel têm mostrado que as lagoas facultativas podem receber concentrações relativamente altas de metais pesados. Assim, uma concentração de metais pesados (6 mg/l de cada um dos metais, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) nos esgotos não afetou o funcionamento normal de lagoas facultativas.

Os sinais de queda da eficiência do processo se fizeram sentir quando essa concentração chegou a 60 mg/l (12 mg/l de cada metal).

5.2.3.3 Nutrientes

Tanto as bactérias como as algas necessitam de uma fonte de nutrientes para crescerem e se multiplicarem. Vários elementos são necessários, porém o nitrogênio, o fósforo e o carbono são os requeridos em maior quantidade. Normalmente, o esgoto doméstico contém esses elementos em abundância e não chegam a constituir fatores limitantes para o crescimento desses organismos no processo biológico.

- a) Para as bactérias aeróbias, uma relação aproximada de DBO: nitrogênio: fósforo de 100 : 5 : 1 tem sido considerada suficiente.
- b) Quanto às necessidades nutricionais das algas, as diferentes espécies de algas têm certas preferências por determinadas formas de compostos desses elementos, principalmente os de nitrogênio e os de carbono; dependendo da sua forma de assimilação, elas podem produzir mais ou menos oxigênio.

As algas necessitam para o seu desenvolvimento e reprodução 106 átomos de carbono e 15 átomos de nitrogênio para cada átomo de fósforo (23).

- A fonte de carbono que é o elemento fundamental para a vida das algas, encontra-se no esgoto, na forma de alcalinidade e gás carbônico, os quais podem ser aproveitados pelas algas de acordo com o equilíbrio de gás na água e/ou através de decomposição bacteriana. Na deficiência desse gás na água, esse elemento pode ser fornecido pela atmosfera, não constituindo, portanto, fator limitante para a proliferação de algas, a não ser no pico da ação fotossintética que ocorre em alguns "momentos" durante o dia.
- As fontes de nitrogênio para o crescimento das algas pode ser o nitrogênio orgânico que, primeiramente, é liberado co

mo amônia (NH_4^+) e, posteriormente, transformado em nitrato (NO_3^-), pela decomposição bacteriana.

Não há comprovação prática quanto a utilização de nitrito (NO_2^-) pelas algas. Como mencionado em itens anteriores deste manual, muitas algas azuis (também denominadas de ciano bactérias) têm a capacidade de fixar nitrogênio molecular (N_2) do ar na ausência de grandes quantidades das outras formas de nitrogênio. Segundo Arceivala, quando o nitrato é utilizado pelas algas, a quantidade de oxigênio (em peso) produzido por grama de alga (peso seco) é de 2,04 g; quando a amônia é utilizada, somente 1,58 g de oxigênio são liberados.

- Quanto ao fósforo, sabe-se que ele é assimilado pelas algas, em grande parte, na forma de ortofosfato (PO_4^-).

5.2.3.4 Oxigênio dissolvido (OD)

A principal fonte de OD, que é utilizado pelos microrganismos nas suas funções respiratórias e de estabilização da matéria orgânica, é proveniente do oxigênio fotossintético das algas.

- a) O oxigênio atmosférico, que pode difundir-se no meio líquido, é considerado uma fonte importante somente em grandes lagoas de estabilização de esgotos (maiores que 10 ha) com tempos de detenção superiores a 20 dias. Em geral, representa uma parcela muito pequena, principalmente, quando se verifica que a superfície das lagoas facultativas acha-se super-saturada, resultando numa perda de oxigênio para a atmosfera. Embora a quantidade de oxigênio que penetra no meio líquido através da reeração seja desprezível, o vento provoca a mistura e uma melhor distribuição do oxigênio num maior volume de lagoa. Não é raro encontrar-se em zonas inferiores das lagoas mais oxigênio do que na própria camada superficial.
- b) Os valores que o oxigênio dissolvido pode alcançar numa lagoa de estabilização variam, amplamente, dependendo da carga aplicada, condições climáticas e de todos aqueles fatores que afetam as atividades das algas.
- c) A produção de oxigênio dissolvido oscila com a profundidade, hora do dia, estação do ano e nebulosidade. Nas lagoas facultativas, em certas horas do dia, o oxigênio fotossintético, muito do qual está encapsulado em finas bolhas, pode chegar nas

camadas superficiais, em concentrações superiores a 35 mg/l, "condição aparente" de super-saturação.

De madrugada, as concentrações de OD caem a valores de 0,5 a 2,0 mg/l e, na maioria das lagoas, a partir das 2 horas da manhã não se detecta a presença de oxigênio. Apresenta-se na Figura 5.10 um exemplo típico encontrado na lagoa de Santa Fé do Sul (SP).

- d) Outro comportamento observado nas lagoas, em relação ao oxigênio dissolvido, é quando ocorre a estratificação térmica na massa líquida. Na ocorrência desse fenômeno, geralmente os primeiros 20 a 40 cm da camada superficial apresentam altas concentrações de oxigênio dissolvido e, nas regiões imediatamente abaixo do termoclima, as concentrações de oxigênio caem abruptamente ou anulam-se (ver Figura 5.10).

O rompimento do termoclima, naturalmente, só acontece se condições ótimas de mistura, pela ação do vento, prevalecerem. Todavia, abaixo de termoclimas pronunciados e persistentes é possível, em algumas lagoas facultativas, se detectar a presença de oxigênio graças a certas espécies de algas fitoflageladas (como as Euglenóides) dotadas de mobilidade própria, que exercem normalmente a sua atividade fotossintética.

- e) Um fator inconveniente que merece também ser registrado é quando se opera com lagoas facultativas de pouca profundidade (em torno dos 0,90 m e 1,0 m). Devido a sua grande atividade fotossintética em outras épocas do ano, essas lagoas no verão tendem a diminuir sua densidade de algas pelas fortes mudanças de temperatura. Por isso mesmo, a tendência de se obter maiores concentrações de oxigênio dissolvido no verão é maior em lagoas mais profundas.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE UM FUNCIONAMENTO NORMAL DE LAGOAS FACULTATIVAS

- a) Cor verde escura e parcialmente transparente

O efluente não possui, praticamente, microrganismos; indica altos valores de pH e OD, e uma lagoa em boas condições.

b) Coloração verde-amarelada ou excessivamente clara

Esta coloração pode significar o crescimento de rotíferos, protozoários ou crustáceos que se alimentam das algas e podem causar a destruição das mesmas em poucos dias. Uma diminuição da população de algas implica no decréscimo de OD na lagoa e emissão de odores desagradáveis. Estes aspectos, todavia, numa lagoa de maturação ou polimento são considerados indicadores de um bom funcionamento e de presença de matéria orgânica já estabilizada.

c) Coloração acinzentada

Esta cor é um indicativo de que a lagoa está sendo sobrecarregada com matéria orgânica e/ou o período de retenção é tão curto que não se obtém uma completa fermentação da camada de lodo. Neste caso, a lagoa, deve ser posta fora de operação até que se recupere.

d) Coloração verde-leitosa

Indica que a lagoa passa por um processo de auto-floculação. Isto acontece com a elevação excessiva da temperatura e, concomitantemente do pH, a tal ponto que os hidróxidos de magnésio ou de cálcio se precipitam e, ao fazê-lo, carregam para o fundo as algas e outros microrganismos. Este fenômeno ocorre principalmente no verão tanto em lagoas rasas quanto na superfície quente de lagoas profundas, e nestas últimas a autofloculação é mais perceptível durante os dias de sol e sem vento.

e) Coloração azul-esverdeada

Uma nata azul esverdeada na superfície de uma lagoa é uma indicação de excessiva proliferação de algas azuis. A floração de certas espécies forma natas que se decompõem facilmente, com exalação de odores incômodos, e reduz a penetração de luz solar diminuindo, conseqüentemente, a produção de oxigênio dissolvido.

f) Superfície do líquido ondulada pela ação dos ventos

Em períodos de calmaria - sem a ação eficiente dos ventos na mistura do conteúdo líquido - as camadas superficiais são aquecidas (tornam-se menos densas) e menos prováveis de serem misturadas com as camadas inferiores com menor temperatura (de maior densidade). Eventualmente, as diferenças de densidade são grandes o bastante para impedir a mistura e a lagoa torna-se

estratificada em duas camadas: uma superior bem misturada (rica em nutrientes e fitoplâncton) e uma camada inferior (pobre em nutrientes e algas), separadas por uma zona (termoclina) onde a temperatura (e densidade) do líquido muda abruptamente. Quando tal fenômeno se estabelece nas lagoas, os conteúdos de oxigênio dissolvido nas diferentes camadas superiores (5 cm a 20 cm) alcançam valores elevados e são muito semelhantes entre si, havendo um decréscimo brusco do teor desse gás logo abaixo dessa profundidade (termoclina), seguida da diminuição mais lenta nas camadas inferiores da lagoa.

- g) Inexistência de vegetação, capim ou mato no interior da lagoa
Estes facilitam o aparecimento de insetos. Nas lagoas em que na faixa de variação dos níveis operacionais da lâmina líquida, o talude interno se apresenta protegido, a grama deve ser plantada no mínimo 10 cm acima do nível máximo de operação.
- h) Ausência de placas de lodos que se elevam do fundo
A dispersão dessas placas pode ser feita por jateamento de água ou por meios mecânicos.
- i) Inexistência de maus odores
Indica bom funcionamento da lagoa, com prevalência das condições aeróbias.
- j) Inexistência de bosques densos ou cercas altas nas cercanias da lagoa
Eles constituem verdadeiras barreiras à ação dos ventos.

Os principais parâmetros de controle que permitirão verificar o desempenho de uma lagoa e se o sistema atende aos padrões estabelecidos pelo Órgão Estadual de Controle de Poluição estão descritos no item 7.4.4 do Cap. 7.

CAPÍTULO 6

INÍCIO DE OPERAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

6.1 INSPEÇÃO INICIAL DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Numa inspeção inicial é importante a observação às dimensões, unidades e detalhes do projeto, além de uma série de condições e materiais necessários ao bom andamento das atividades operacionais. Dessa forma deve-se atentar para as seguintes verificações:

a) Obediência ao projeto:

- unidades previstas e suas dimensões;
- inclinação e proteção dos taludes;
- alimentação das unidades;
- iluminação e residência de operador;
- havendo estação elevatória, deve-se checar as bombas, sensores de alimentação e comandos elétricos e
- verificação das condições do terreno da lagoa (existência de formigueiros, ninhos de ratos, etc.).

b) Condições básicas locais:

- cercamento da área, para controle do acesso de pessoas e veículos à área;
- passadiços e guarda-corpos nos acessos às caixas de saída das lagoas;
- instalações sanitárias;
- pontos de água potável, principalmente próximo aos locais de amostragem;
- instrumentos de limpeza (pá perfurada, para remoção de material sedimentado na caixa de areia; rastelo para remoção do material gradeado; peneira de nylon, com cabo longo, para remoção de sobrenadante; carrinho de mão, para transporte do material removido, mangueira, pá para cobrir o material gradeado; escovão par limpar vertedores, tábuas de stop-logs, etc) e fichas de anotações rotineiras;
- tabelas de vazão (referentes aos medidores de vazão) e quando da existência de Estação Elevatória curvas das bombas;
- inexistência de barreiras naturais ou artificiais à ação dos ventos sobre a área das lagoas;
- escala de operadores e/ou serviçais definida;
- comportas e stop-logs devem estar estanques.

6.2 PROCEDIMENTOS PARA O CARREGAMENTO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

A técnica a ser adotada na partida inicial de uma lagoa de estabilização depende das circunstâncias locais.

Todavia, qualquer que seja a situação, a fase de carregamento deve ocorrer, de preferência, no verão (predominância de temperaturas mais elevadas) e dois procedimentos devem ser evitados:

- Receber a carga de esgotos prevista em projeto, sem que antes na lagoa se estabeleça uma comunidade balanceada de algas e bactérias.

Se tal prática for adotada, as lagoas passarão por um processo de decomposição anaeróbia, com o predomínio da fermentação ácida e emissão de odores insuportáveis de compostos putrescíveis, à base de enxofre e nitrogênio, tais como os mercaptanos, ácidos tioglicólicos e cadaverinos. As medidas adotadas para minimizar os problemas são dispendiosas; levam cerca de quase dois meses para surtirem efeitos e, até certo ponto, são incontroláveis, principalmente, quanto maiores forem as áreas das lagoas e o número de células do sistema.

- Carregar as lagoas com pequenas e continuadas contribuições (típicas quando o número de ligações domiciliares é baixo) de esgotos, pois pode acontecer que, até que ocorra a colmatação do terreno, todo o líquido, ou parte dele, percole pelos taludes e o lastro, fazendo com que aí se acumule material sólido putrescível e/ou se estabeleça a anaerobiose e putrefação, com exalação de maus odores.

Outro aspecto ocasionado pela demora ascensional da lâmina é a fertilização rápida do fundo da lagoa e das saias dos diques internos, possibilitando o desenvolvimento de uma vegetação incontrolável que, se não for removida, trará inconvenientes futuros à operação e funcionamento do sistema.

Assim sendo, se o sistema situar-se próximo do corpo d'água receptor ou se dispuser de água de abastecimento público, dois procedimentos são recomendados na partida inicial das lagoas:

- a) Enchimento das lagoas com água bombeada do córrego ou proveniente do sistema de abastecimento público.

Neste caso, a água bombeada do córrego ou proveniente da rede

pública de abastecimento, deve ser num volume tal que assegure uma lâmina mínima, se possível, de 1,0 m. Atingida a lâmina mínima, a introdução de esgoto poderá ser iniciada, bloqueando-se, evidentemente, todos os dispositivos de saída ("stop-log"), até atingir a lâmina prevista em projeto.

Este procedimento impede o crescimento da vegetação, permite testar a estanqueidade do conjunto (lastro e taludes) e possibilita a correção de eventuais deficiências decorrentes de uma compactação insuficiente na construção das lagoas, antes de encher as mesmas com esgoto.

- b) Enchimento, intermitente, com uma mistura de água bombeada do córrego e esgoto a ser tratado.

Neste caso, enche-se, parcialmente, a lagoa com água e esgoto (diluições de 5:1 ou menores) até se assegurar uns 0,40 m de lâmina. Aguardam-se alguns dias, até que se verifique visualmente o surgimento das algas. Nos dias subsequentes, mais esgotos (ou uma mistura de água/sgoto) serão adicionados até o desenvolvimento de uma floração de algas. Pode levar cerca de 7 a 14 dias de paralisação para que isso ocorra. Decorrido esse período, a lagoa é então enchida com esgotos até o nível de operação e novamente interrompida a alimentação. Após uma população de algas se estabelecer no meio, que pode também durar de 7 a 14 dias, a lagoa passará a receber esgotos normalmente. Naturalmente, essas intermitências, diluições ou não, floração de algas para preparação de um meio balanceado de algas e bactérias, devem ser acompanhados, de perto, por operadores com uma certa vivência prática do processo.

Uma boa comunidade biológica pode se estabelecer num período de 60 dias (Ver Tabela 3.4, Capítulo 3).

6.2.1 Início de operação de uma lagoa anaeróbia

- Iniciar a introdução dos esgotos, conforme recomendações feitas no item 6.2, alínea a);
- Manter o pH do conteúdo líquido levemente alcalino. (7,2 a 7,5). Esta tarefa pode ser facilitada se, quando decorridos os primeiros 30 dias de operação, for inoculado lodo digerido de estações ou tanques Imhoff ou aplicado pó de calcáreo, cinza vegetal ou bicarbonato de sódio.

6.2.2 Início de operação de lagoa facultativa

- Iniciar a introdução dos esgotos, conforme recomendações feitas no item 6.2, alínea a) ou 6.2, alínea b):
- A manutenção do pH acima de 7,5 será assegurada, sem a adição de qualquer produto químico, se as instruções do item 6.2, alínea b, forem seguidas. Uma comunidade biológica balanceada entre algas e bactérias é esperada após 60 dias de operação.
- Medir diariamente o oxigênio dissolvido.

6.2.3 Início de operação de lagoas em série

a) Partida inicial da célula primária

Seguir as instruções descritas no item 6.2.1 se a lagoa for anaeróbia ou no item 6.2.2 se ela for facultativa.

b) Partida inicial das outras células

- As lagoas secundárias, terciárias e as demais de uma associação em série, podem começar a ser enchidas com água, quando a célula primária atingir uma lâmina mínima de 1,0 m;
- Adicionar água do rio ou do sistema público de abastecimento de água nas demais lagoas em série, até atingir um nível d'água de 1,0 m. Evidentemente, todos os dispositivos de saída dessas células devem estar fechados.
- Atendida a lâmina de operação de projeto (geralmente maior que 1,0 m) na célula primária, o efluente desta pode ser transferido para a célula subsequente, tomando-se as seguintes precauções:
 - . retirar os "stop-logs", lentamente, não permitindo que a lâmina d'água da unidade precedente caia abaixo de 1,0 m;
 - . não efetuar operações de descarga de fundo da célula primária para acelerar a equalização dos níveis d'água nas demais lagoas;
 - . equalizar as lâminas d'água em todas as lagoas dessa maneira lenta; se a instalação dispuser de bomba, recircular o efluente de qualquer lagoa do sistema, para aquela que necessite elevar o seu nível de operação.

- #### c) A simultaneidade ou não das diversas etapas dos enchimentos das lagoas será função de:

- volume de água que pode ser retirado do rio ou do sistema público de abastecimento de água sem que cause inconvenientes aos usos dos mesmos;
- diferença das pressões hidrostáticas exercidas pelos volumes de água de lagoas adjacentes sobre os taludes de terra que constituem a interface entre as mesmas. Por exemplo, se uma lagoa anaeróbia de 3,0 m de profundidade for seguida de uma facultativa de 1,5 m de profundidade, cujos fundos estejam na mesma cota, não é conveniente deixar que a primeira célula atinja o seu nível de operação, enquanto a segunda permanecer totalmente vazia. Nesta condição há possibilidade de rompimento ou percolação de água através do talude divisório das duas células (Ver Figura 6.1).

CAPÍTULO 7

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

7.1 INTRODUÇÃO

Para se atender aos objetivos de um tratamento de esgotos, fazem-se necessárias a execução eficiente de atividades de inspeção, operação, manutenção e a avaliação de desempenho.

A avaliação de desempenho visa conhecer as condições reais de funcionamento da instalação e o acúmulo desse conhecimento, através de parâmetros de controle, permite:

- dominar a instalação em termos de manejá-la tanto em condições normais como em situações especiais e
- prever problemas que possam ocorrer.

Esse conhecimento só é conseguido através de controle operacional rotineiro da instalação, assunto que é tratado neste Capítulo.

Quando esse controle rotineiro revelar que a instalação não está funcionando satisfatoriamente, ou há insuficiência de dados para se assegurar uma análise mais racional dos problemas, recomenda-se uma avaliação de desempenho denominada "avaliação extraordinária", a qual é tratada no "Manual de Avaliação de Desempenho de Lagoas de Estabilização" - D3.560, elaborado pela CETESB e disponível na biblioteca dessa Companhia.

O controle adequado do processo envolve o conhecimento das composições qualitativa e quantitativa do esgoto afluente às lagoas de estabilização, um certo domínio dos fenômenos que ocorrem nesse ambiente, além da caracterização do efluente do sistema. Assim sendo, existem três pontos principais de controle numa lagoa de estabilização: entrada da lagoa, a lagoa em si e a saída da lagoa. Em cada um deles são efetuadas diversas análises e medições que serão utilizadas para se determinar como está se desenvolvendo o processo de tratamento, predizer as alterações operacionais que se fizerem necessárias, bem como verificar a eficiência do sistema.

Algumas determinações podem ser efetuadas diariamente pelo próprio operador, que dentre outras atividades diárias, deve preen

cher uma Ficha Diária de Controle Operacional (ver tabela 7.2, item 7.3) que permite, aos responsáveis pelo controle, constatar as principais ocorrências, as condições meteorológicas e os parâmetros físicos básicos que possam interferir no bom desempenho de um sistema de lagoas de estabilização.

Outras determinações exigem técnicas e equipamentos específicos. Amostras do afluente e efluente de cada unidade que compõe um sistema deverão ser coletadas periodicamente para análise, em laboratório, dos principais parâmetros que permitam avaliar o comportamento da operação do sistema de tratamento.

Se a localidade dispuser de laboratório, técnicos de nível médio e engenheiros treinados, as amostragens, as determinações laboratoriais, a orientação e fiscalização do programa de avaliação de desempenho do sistema deverão ficar a cargo do supervisor ou do responsável pelo sistema.

Quando isto não for praticável, o responsável pelo sistema deve solicitar a participação do Órgão Estadual de Controle da Poluição e, em colaboração com ele, executar o conjunto de tarefas que caracterizem o funcionamento e o desempenho do seu sistema.

Os procedimentos de coleta e análise devem seguir normas e recomendações sugeridas e/ou consagradas por entidades especializadas. Existem, na maioria dos casos, diferentes métodos que podem ser utilizados, todos válidos desde que compatíveis com a condição e qualidade do meio a ser amostrado e/ou analisado. A CETESB sugere, para os objetivos do presente manual:

- Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água, Helga Bernhard de Souza e José Carlos Derísio, CETESB, 1977.
- Análises Físico-Químicas para Controle das Estações de Tratamento de Esgotos, Manuel Osvaldo Senra Álvares da Silva, CETESB, 1977.
- Normas Técnicas CETESB:
 - . L5.102 - Determinação de alcalinidade em águas - Método da titulação até pH pré-determinado.
 - . L5.120 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método da diluição e encubação (20°C, 5 dias).
 - . L5.128 - Determinação de fósforo em águas - Método do ácido ascórbico.

- . L5.136 - Determinação de nitrogênio amoniacal em águas - Método de nesslerização em destilação prévia.
 - . L5.139 - Determinação de nitrogênio orgânico e de nitrogênio total Kjeldhal em águas - Método da determinação de nitrogênio na forma de amônia.
 - . L5.145 - Determinação de pH em águas.
 - . L5.148 - Determinação do resíduo sedimentável em águas - Método do cone Inhoff.
 - . L5.149 - Determinação do resíduo em águas - Métodos gravimétricos
 - . L5.169 - Determinação de oxigênio dissolvido (OD) em águas - Método de Winkler modificado pela azida sódica.
 - . L5.202 - Coliformes totais e fecais - Determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos - Método de ensaio (AGO/84).
 - . L5.303 - Método de fitoplâncton de água doce - Métodos qualitativo e quantitativo.
 - . L5.304 - Método de zooplâncton de água doce - Métodos qualitativo e quantitativo.
- Standard Methods for the examination of water and wastewater, 16^ª ed., APHA, Washington - DC, 1985.
- . 508^A - Demanda química de oxigênio (DQO) - Método refluxo aberto.

7.2 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE DE TRABALHO

7.2.1 Pessoal Necessário

O número de pessoas necessárias para um controle adequado das lagoas de estabilização depende, fundamentalmente, do porte da instalação e do número de células que compõem o sistema.

Não existe uma regra absoluta para quantificar o número de operários nesses sistemas, todavia, um critério adotado na Índia pode auxiliar o responsável pelo sistema a mensurar a sua equipe de trabalho.

TABELA 7.1 - Dimensionamento de equipe de operação de sistemas de lagoas de estabilização

POPULAÇÃO SERVIDA POR LAGOA	PESSOAL	
	SUPERVISOR	AJUDANTES
5.000	-	2
10.000	-	3
50.000	1	6
100.000	1	8
200.000	1	8

Estudo realizado na Índia em 41 estações de tratamento constituídas por lagoas de estabilização.

Fonte: Ref. (1)

A experiência da CETESB tem demonstrado que é sempre necessário um supervisor, por menor que seja o porte da lagoa.

7.2.2 Funções do Pessoal

7.2.2.1 Supervisor

Será encarregado das lagoas e deverá possuir conhecimento sobre operação e manutenção desses sistemas e manter-se, sempre que possível, atualizado com cursos ministrados por Órgãos Estaduais de Controle da Poluição das Águas ou pelas Universidades existentes na sua região de trabalho.

Suas principais responsabilidades são:

- a) ter autoridade suficiente sobre o pessoal de manutenção e instruí-los sobre as suas atividades;
- b) informar pessoalmente ao responsável pelo sistema sobre o funcionamento e estado geral das lagoas de estabilização;
- c) realizar os controles necessários para a operação normal da instalação, entre eles:
 - controles meteorológicos: leitura dos instrumentos, registros e manutenção dos mesmos;
 - controles físicos-químicos: leitura de parâmetros e análises de amostras;
 - coleta de amostras para exames de fitoplâncton e zooplâncton.
- d) registrar os dados obtidos, processar as informações e enviá-

las ao responsável pelo sistema e, quando solicitadas, ao Órgão Estadual de Controle da Poluição.

7.2.2.2 Ajudantes

Preocupar-se, fundamentalmente, com a manutenção dos taludes, limpeza das grades, caixa de areia, vertedores, dispositivos de alimentação, saída e regulagem dos fluxos, medir as vazões horárias e cuidar do paisagismo e urbanização de toda a área de tratamento.

7.3 ATIVIDADES GERAIS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

7.3.1 Atividades diárias do operador

- a) Percorrer o perímetro do sistema de tratamento de esgotos, bem como o de cada lagoa, procurando verificar:
- se não existe nenhum mourão da cerca enfraquecido ou arame arbutado, visando impedir a entrada de animais ou pessoas estranhas no local;
 - o estado de conservação dos gramados de proteção dos diques internos e externos;
 - se os avisos, indicando ser o local um sistema de tratamento de esgotos, estão fixados em pontos bem visíveis;
 - se existe algum vazamento de líquidos pelos taludes;
 - o estado de conservação e limpeza das calhas diversoras de águas pluviais;
 - se a distribuição de vazão, no caso de existência de entradas e saídas múltiplas, é equitativa pelos diversos ramais;
 - se os níveis de operação estão adequados.
- b) Anotar dados meteorológicos (temperatura, precipitações pluviométricas e ventos) na Ficha Diária de Controle Operacional (Tabela 7.2).
- c) Se dispuser de estação meteorológica no local, medir quantitativamente: horas de insolação, temperaturas do ar (máxima, média e mínima), precipitação, evaporação, direção dos ventos, umidade do ar, nebulosidade.

7.3.2 Atividades periódicas do operador

- a) Limpar as valas de proteção contra águas pluviais, com a remo

TABELA 7.2 - Ficha Diária de Controle Operacional para Sistemas de Lagoas Anaeróbias e/ou Facultativas

Identificação da lagoa.....		Data / /		Nome do Operador.....	
1. OCORRÊNCIAS				SIM	NÃO
- Levantamento do lodo em algum ponto da lagoa..... - Manchas verdes na superfície da lagoa: . anaeróbia..... . facultativa..... - Manchas negras ou cinzentas na lagoa facultativa..... - Aparecimento de vegetais: . na lagoa..... . nos taludes..... - Evidência de erosão nos taludes..... - Alguma infiltração visível..... - Cercas em ordem..... - Presença de insetos..... - Presença de aves..... - Água pluvial com canaletas limpas..... - Medidor de vazão em funcionamento..... - Mau odor: . na lagoa facultativa..... . na lagoa anaeróbia..... - Manchas de óleo.....					
2. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS					
PARÂMETRO	HORA			OBSERVAÇÕES	
	07:00	12:00	17:00		
- Altura da lâmina no medidor de vazão (cm)					
- vazão (l/s) (*)					
- Temperatura(°C)					
. do ar					
. do esgoto					
.. afluente					
.. meio da lagoa					
.. efluente					
- Nível da lâmina líquida na lagoa (m)					
- pH					
. afluente					
. efluente					
- Sólidos sedimentáveis (ml/l)					
. no esgoto bruto					
. no efluente da 1ª célula					
- OD, a 20 cm abaixo da superfície líquida, próximo ao efluente da lagoa facultativa					
* Sempre que possível, medições horárias que cubram o período diurno ou pelo menos as 7:00, 9:00, 12:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00 e 21:30 h.					
3. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS (**)					
	CLASSIFICAÇÃO	PERÍODO		OBSERVAÇÕES	
		07:00 as 12:00	12:00 as 17:00		
Tempo	Sol brilhante Ensolarado, com nuvens Nublado, sem sol				
Precipitações	Ausente Chuva fina Chuva moderada Chuva forte				
Intensidade dos ventos	Nula Ventos fracos Ventos moderados				

- ção da areia nelas depositadas;
- b) Pintar cercas, placas de avisos.

7.4 ATIVIDADES DE OPERAÇÃO E CONTROLE OPERACIONAL ROTINEIROS

7.4.1 Unidades de remoção de sólidos grosseiros

A Figura 7.1 ilustra um conjunto de unidades de remoção de sólidos grosseiros constituído de uma grade e uma caixa de areia de câmara dupla, seguido de um medidor de vazão tipo Parshall.

- a) O material retido nas grades deverá ser removido com uma frequência tal que possa evitar que o aumento da perda de carga localizada nas barras cause represamento dos esgotos no canal a montante e aumento demasiado da velocidade do líquido entre as barras, arrastando alguns materiais que deveriam ser retidos nessa unidade.
- b) As caixas de areia são dispositivos empregados para remover material inorgânico não putrescível, que se caracteriza por partículas com tamanhos superiores a 0,2 mm que não floculam e por possuírem uma velocidade de sedimentação maior que a das partículas orgânicas.

7.4.1.1 Atividades diárias do operador

- a) Dar pancadas na grade, com rastelo apropriado, de hora em hora;
- b) Passar o material gradeado para um crivo construído sobre o canal a jusante da grade, a intervalos máximos de 3 horas. Aí, com esguicho de mangueira, o mesmo poderá ser lavado de toda a sua matéria orgânica não grosseira, reduzindo então o seu volume;
- c) Todas as manhãs, o material, já lavado e escoado, deverá ser depositado em valas apropriadas e recoberto com pequena camada de terra, para ser digerido fora do acesso de insetos, especialmente das moscas;
- d) Agitar a caixa de areia no sentido contrário ao fluxo dos esgotos 3 vezes ao dia, de modo a forçar a matéria orgânica que porventura tenha se sedimentado (especialmente nas horas de menor vazão), a voltar ao meio líquido e ser transportada até

as lagoas de estabilização, dimensionadas para receber esse tipo de sólido.

- e) No caso de se registrar alguma anormalidade no funcionamento dessas unidades, proceder às atividades sugeridas no item 8.1.

7.4.1.2 Atividades periódicas do operador

Fazer a descarga ou limpeza da caixa de areia sempre que o material acumulado ocupar a metade da altura da câmara de armazenamento ou 2/3 de todo o seu comprimento. Os intervalos entre limpezas geralmente ocorrem a cada 15 (quinze) dias ou, em certos casos, até 3 (três) meses:

- o ideal é ter-se duas unidades de caixa de areia; pode-se isolar uma caixa para a limpeza, enquanto a outra é colocada em funcionamento;
- a areia, bem como o material sedimentado nessa unidade, é retirada por meio de pás ou enxadas e deve ser transportada para ser convenientemente enterrada;
- lava-se a câmara e ela está pronta para ser reutilizada.

7.4.2 Unidades de medição e controle de vazão

7.4.2.1 Atividades diárias do operador

- a) Sempre que possível, dispor de registradores de vazão afluente ou realizar medições horárias que cubram pelo menos o período diurno. Quando isso não for possível, optar por leituras às 07:00, 09:00, 12:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00 e 21:30 horas. O operador deve observar que antes de cada leitura é necessário limpar as calhas vertedoras e/ou canal afluente ao dispositivo de medição para impedir qualquer interferência no fluxo que possa conduzir a leituras falhas. Os valores medidos devem ser anotados na Ficha Diária de Controle Operacional (Tabela 7.2).
- b) Quando o sistema dispuser de medidores de vazão e/ou caixas de divisão de fluxos que não sejam do esgoto afluente ao mesmo, devem-se registrar essas vazões ou realizar medições horárias durante 24 horas num período que cubra pelo menos uma semana, em diferentes meses do ano. Baseando-se na análise dessas curvas de vazão, deve-se definir a frequência das leituras nesses dis

positivos de controle e medição de vazão.

7.4.2.2 Atividades periódicas do operador

- a) A distribuição e regulagem dos fluxos num sistema de lagoas é uma das ferramentas mais úteis de que dispõe o operador para controlar os processos de tratamento. O sistema projetado, quando não possui essa flexibilidade, dificulta, em muito, o trabalho do operador.
- Num sistema unicelular, a única flexibilidade de que dispõe o operador é o controle da profundidade da lâmina d'água. Esta alteração visa o controle da vegetação, a redução do número de larvas de mosquitos na zona dos diques, o ajuste dos níveis de insolação e a eficiência do processo.
 - Quando o sistema projetado inclui múltiplas células em série e/ou em paralelo, o operador tem um maior número de opções para o controle:
 - .. pode transferir o líquido de uma lagoa para outra, visando a correção de um problema de deficiência de oxigênio;
 - .. pode variar a profundidade da lâmina d'água para controle da vegetação e das larvas de mosquitos;
 - .. pode isolar uma célula que tornou-se anaeróbia ou permitir que haja uma aclimação dos microrganismos para assimilar uma carga de resíduos tóxicos;
 - .. pode alterar o regime de operação - em série ou em paralelo - para redistribuir as cargas orgânicas nas diferentes lagoas;
 - .. pode acumular os esgotos numa célula primária, especialmente, durante as operações de descargas sazonais freqüentes em indústrias.
- b) Limpar, periodicamente, os vertedores e encaixe das tábuas dos dispositivos de saída das lagoas com auxílio de escovão, para evitar que se formem crostas de espuma e/ou de algas.
- c) Se existir comporta com volante para fazer variar o nível d'água, a haste da comporta deverá estar sempre lubrificada com graxa, evitando o aparecimento de ferrugem que dificulte o seu acionamento.

7.4.3 Lagoas anaeróbias

7.4.3.1 Atividades diárias do operador

- a) Medir a temperatura dos esgotos afluente, da lagoa e efluente, nível da lâmina líquida na lagoa, pH e sólidos sedimentáveis tanto no esgoto bruto como no efluente, pelo menos às 07:00, 12:00 e 17:00 horas. Anotar os dados na Ficha de Controle Operacional (Tabela 7.2). No caso de se registrar alguma anormalidade (ver item 4.3 do Capítulo 4) proceder as atividades sugeridas no item 8.2 do Capítulo 8.
- b) Bater os sobrenadantes com instrumentos simples (um quadrado de tábua, fixado à ponta de uma vara de três metros de comprimento); as batidas podem ser feitas duas vezes ao dia; essas operações só se justificam quando se constata que elas são, verdadeiramente, responsáveis pela exalação de maus odores;
- c) Retirar dos sobrenadantes pequenas partes que ficam ao alcance próximas às margens e enterrá-las em valas apropriadas;
- d) Combater qualquer início de erosão nos taludes;
- e) Manter isentos de vegetais as margens, bem como qualquer ponto da lagoa;
- f) Não permitir a permanência de porejamento nos taludes. Caso ocorra, obstruí-los com argila;
- g) Manter limpos os dispositivos de entrada de esgoto na lagoa, principalmente quando esses são submersos;
- h) No caso da lagoa anaeróbia ser seguida de uma facultativa, não permitir a passagem de material flutuante para a célula subsequente.

7.4.3.2 Atividades periódicas

- a) O operador deverá esparrizar cinzas vegetais sobre as crostas sobrenadantes das lagoas anaeróbias, pelo menos semanalmente. Ao mesmo tempo, as escumas devem ser batidas com instrumentos simples.
- b) Realizar análises para o controle operacional rotineiro da lagoa (ver item 7.1); as principais análises recomendadas e suas frequências constam na Tabela 7.3. É conveniente que por ocasião

sião da coleta de amostras, se efetuarem determinações em campo de pH e sólidos sedimentáveis (essas análises fazem parte das atividades diárias do operador).

Com exceção da colimetria e alcalinidade, as demais determinações laboratoriais devem ser feitas a partir da coleta de amostras compostas de 24 horas.

- c) Verificar, nas estações de inverno e verão, a provável espessura da camada de lodo. Tal procedimento visa acompanhar o comportamento da lagoa: acúmulo e distribuição do lodo, a possível época da remoção do lodo e limpeza da unidade de tratamento.

TABELA 7.3 - Determinações físico-químicas e biológicas para lagoas anaeróbias

PARÂMETROS	UNIDADE	AFLUENTE	EFLUENTE	FREQUÊNCIA MÍNIMA
DBO	mg/l	x	x	S
DQO	mg/l	x	x	S
sólidos totais	mg/l	x	x	Q
sólidos fixos	mg/l	x	x	Q
sólidos suspensos	mg/l	x	x	Q
Colimetria/coli fecal	NMP/100 ml	x	x	M
alcalinidade	mg/l	x	x	M
nitrogênio Kjeldhal *	mg/l	x	x	O
. orgânico	mg/l	x	x	O
. amoniacal	mg/l	x	x	O
fósforo total *	mg/l	x	x	O

* Preferencialmente em sistemas associados em série.

S = Semanal

Q = Quinzenal

M = Mensal

O = Ocasional

7.4.4 Lagoas Facultativas

7.4.4.1 Atividades diárias do operador

- a) Medir a temperatura dos esgotos afluente, da lagoa e efluente, nível da lâmina líquida na lagoa, pH no afluente e efluente da lagoa, sólidos sedimentáveis no esgoto bruto e no efluente nos casos de células primárias, OD (oxigênio dissolvido) a 20 cm abaixo da superfície, pelo menos às 07:00, 12:00 e 17:00 horas. Anotar os dados na Ficha Diária de Controle Operacional (Tabela 7.2). No caso de se observar alguma anormalidade (ver item 5.3 do Capítulo 5), proceder às atividades sugeridas no item 8.3 do Capítulo 8.
- b) Havendo crostas de escumas nas lagoas facultativas, essas deverão ser jateadas com água, destruídas com rastelos ou removidas com peneira de nylon ou estopa de cabo longo, sendo o material enterrado posteriormente;
- c) Cuidar da conservação dos taludes e dos seus gramados, evitando e/ou corrigindo porejamentos e erosões;
- d) Combater qualquer início de erosão nos taludes;
- e) Caso não se tenha a faixa de lajotas de concreto à altura da lâmina d'água, manter os taludes limpos (carpidos e roçados) nos pontos de contatos com os líquidos, nesse caso, mudar os níveis da superfície líquida, a cada quinze dias, por meio dos "stop-logs";
- f) Manter limpos os dispositivos de entrada do esgoto afluente;
- g) Controlar o nível de água de acordo com a insolação e eficiência do processo;
- h) Manter os poços vertedores dos efluentes isentos de qualquer material que tenha sido indevidamente ali lançado.

7.4.4.2 Atividades periódicas

- a) Realizar duas vezes por semana, próximo à entrada, no meio e próximo à saída da lagoa, a profundidades de 20 cm abaixo da superfície, 20 cm acima do fundo e no meio da lâmina líquida as seguintes determinações:
 - oxigênio de respiração;
 - oxigênio dissolvido;

- oxigênio fotossíntese.

- b) Realizar análises para o controle operacional rotineiro da lagoa (ver item 7.1); as principais análises recomendadas e suas frequências constam na Tabela 7.4. É conveniente que, por ocasião da coleta de amostras, se efetuem determinações em campo, de pH e sólidos sedimentáveis que fazem parte das atividades diárias do operador.

TABELA 7.4 - Determinações físico-químicas e biológicas para lagoas facultativas

PARÂMETROS	UNIDADE	AFLUENTE	EFLUENTE	FREQÜÊNCIA
DBO	mg/l	x	x	S
DQO	mg/l	x	x	S
sólidos totais	mg/l	x	x	Q
sólidos fixos	mg/l	x	x	Q
sólidos suspensos	mg/l	x	x	Q
fictoplâncton	org/m ³		x	Q
zooplâncton	org/ml		x	Q
coliformes fecais	NMP/100 ml	x	x	M
alcalinidade	mg/l	x	x	M
nitrogênio Kjeldhal	mg/l	x	x	O
- orgânico	mg/l	x	x	O
- amoniacal	mg/l	x	x	O
nitrogênio nitrato	mg/l		x	O
nitrogênio nitrito	mg/l		x	O
fosforo total	mg/l	x	x	O
ortofosfato	mg/l		x	O

S = Semanal

Q = Quinzenal

M = Mensal

O = Ocasional

7.5 LIMPEZA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

7.5.1 Freqüência de Limpeza

Vimos na Capítulo 3 que o lodo depositado nas lagoas de estabilização, sejam anaeróbias ou facultativas, não constitui a médio prazo, um problema operacional. A CETESB teve oportunidade de participar da operação de limpeza em apenas 4 sistemas de lagoas de estabilização, tendo 2 (dois) desses sistemas células aeradas artificialmente, onde o acúmulo e o descarte dos lodos produzidos constituem uma preocupação.

Os outros dois sistemas incluíam, respectivamente, uma lagoa anaeróbia rasa (1,0 m - 1,20 m) e uma facultativa unicelular (0,60 m), e operavam há quase 20 anos. Tratando-se de 2 sistemas, com concepções de projetos hoje ultrapassados e sem a menor vigilância operacional em toda a sua vida útil, não chegam a ser representativos de um provável comprometimento das lagoas de estabilização, como um dos métodos mais recomendados para solucionar o tratamento dos esgotos, em comunidades de pequeno e médio porte, de países em desenvolvimento.

Teoricamente, a quantidade de lodo acumulada numa lagoa anaeróbia é de cerca de 0,26 l/hab.dia e, após secagem ao ar, de 0,13 l/hab dia. Nesse último estado, ele contém 45% de sólidos e ainda 55% de água, ou seja, a taxa de acumulação de lodo seco é de 0,03 a 0,04 m³/hab. ano.

Nas lagoas facultativas, bem mais rasas que as anaeróbias, submetidas a intensas e variadas radiações do sol, temperaturas maiores que 15°C são, para as nossas condições climáticas, sempre asseguradas na camada de lodo. Como, acima dessa temperatura mínima, os processos de digestão anaeróbia desenvolvem-se favoravelmente, raramente a remoção de lodo justifica-se antes de 15 anos ininterruptos de funcionamento. É oportuno registrar que, em lagoas onde existem zonas mortas, pode haver uma sedimentação exagerada de algas mortas (5 cm/ano), o que pode levar o operador menos avisado a concluir por um assoreamento prematuro da lagoa.

7.5.2 Procedimentos de limpeza

O lodo acumulado numa lagoa de estabilização deve ser removido quando a sua espessura atingir a metade da lâmina d'água de operação.

Os procedimentos adotados na limpeza de uma lagoa seguem a seguinte seqüência:

- a lagoa, cujo lodo será removido, sairá temporariamente do circuito. Os esgotos deverão ser desviados para uma outra célula em uso ou, em último caso, para o curso d'água. Esta operação deverá ser realizada de forma gradual, de modo a não prejudicar o funcionamento normal da lagoa em uso ou interferir o mínimo possível nos diversos usos de jusante do corpo receptor;
- os "stop-logs" das caixas de saída devem ser removidos sequencialmente, de forma gradativa, e os líquidos encaminhados para a outra célula em uso. A lâmina d'água deve ser rebaixada até alcançar a camada de lodo;
- o lodo, exposto ao sol, perderá, paulatinamente, sua água intersticial e secará ao ar livre;
- quando o lodo apresentar rachaduras e tornar-se manuseável com garfos de brita, deverá ser retirado da lagoa e utilizado como condicionador de solo ou "adubo" na própria área da estação.

Estas recomendações são fáceis de serem aplicadas quando não existe a interferência das águas do lençol freático nas lagoas de estabilização. Na hipótese da existência de lençol freático aflorante realimentando as lagoas, o lodo ali acumulado dificilmente secará ao ar livre e a sua remoção só será viável através de processos mecânicos. Os procedimentos recomendados, neste caso, são os seguintes: (Ver Figura 7.2)

- construir, previamente, próximo da lagoa a ser limpa, uma pequena lagoa com fundo em cota superior ao nível do lençol subterrâneo, dotada de drenos (a 0,40 m do fundo) e tubos extravasores (ladrão);
- interromper, temporariamente, a alimentação dos esgotos e colocar, na lagoa a ser limpa, uma draga para retirada dos lodos;
- a draga, circulando ordenadamente, succionará e bombeará os lodos para a "lagoa auxiliar" até o nível máximo de extravasão, quando ela deverá interromper, por algumas horas, o seu funcio

namento. Pouco a pouco, o nível na lagoa auxiliar irá baixando, através dos drenos (manilhas ou bambus);

- enquanto diminui o nível do líquido na lagoa auxiliar, o nível na lagoa principal deverá ser elevado para assegurar o calado da draga. O reenchimento da lagoa deverá ser feito com água bombeada do córrego (quando possível e próximo) ou de outras lagoas subseqüentes;
- estas operações, cíclicas e associadas entre a lagoa principal e a auxiliar, se repetirão até se ter a certeza de que todo o lodo foi removido da lagoa principal;
- o lodo acumulado na lagoa auxiliar perderá sua água intersticial e secará ao ar livre.

A experiência da CETESB, em ambas situações de limpeza e remoção do lodo, não constatou nenhuma exalação de maus odores ou outros inconvenientes no lodo removido.

CAPÍTULO 8

PRINCIPAIS PROBLEMAS DE FUNCIONAMENTO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Por ser um sistema de tratamento bastante simples, a maioria das lagoas de estabilização não é devidamente cuidada. A falta de um interesse no controle operacional e o total descaso na manutenção leva-as, em pouco tempo, a uma situação de abandono.

Uma lagoa de estabilização, quando bem projetada, construída, operada e cuidadosamente mantida, constitui um dos processos mais simples de tratamento de esgotos e não causa perturbações à vizinhança e nem provoca decepções aos visitantes. Todavia, como se trata de um processo de tratamento natural, muito influenciado pelas mudanças climáticas locais, não controláveis pelo homem, é recomendável que as lagoas de estabilização mantenham uma certa distância das áreas residenciais. Tratando-se de lagoas facultativas, deve-se manter um afastamento mínimo de 500 m de áreas residenciais. No emprego de lagoas anaeróbias, uma distância de 1.000 m ou mais é sempre conveniente. Esses números, embora não constituam uma regra rígida, só devem ser desobedecidos quando a instalação for dotada de algum sistema de recirculação que possa ser acionado para eliminar e/ou minimizar os maus odores exalados por alguma célula, temporariamente, em distúrbio ou desequilíbrio.

8.1 PRINCIPAIS PROBLEMAS OPERACIONAIS EM UNIDADES DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS

A maioria das perturbações na operação das caixas de areia provém da variação da velocidade dentro da câmara e agravam-se, mais ainda, quando são associados perfis e medidores de vazão inadequados.

8.1.1 Excesso de matéria orgânica no material removido dos depósitos de acumulação de areia

Causas:

- velocidade de escoamento demasiadamente baixa;
- tempo de retenção demasiadamente longo.

Como corrigir:

- reduzir a área da seção transversal do canal da caixa de areia, adicionando-se material ao longo das paredes do canal (enchimento com tijolos rejuntados com cimento e areia, massa, etc);
- diminuir o número de câmaras usadas;
- reajustar, quando for possível, o vertedor de saída de maneira a diminuir a profundidade da lâmina d'água, durante o período de vazões normais;
- reduzir, quando for praticável, o comprimento da câmara por meio de deslocamento do vertedor de saída;
- revolver, três vezes ao dia, o material acumulado nos depósitos das caixas de areia, no sentido contrário ao fluxo, de maneira que a matéria orgânica absorvida aos grânulos de areia possa ser liberada e siga a sua trajetória normal; esta recomendação operacional consta no item 7.4.1 do Cap. 7 deste Manual.

8.1.2 Arraste de areia no efluente das caixas de desarenaçãoCausas:

- velocidade dos fluxos demasiadamente alta;
- tempo de detenção, na câmara, demasiadamente curto.

Como corrigir:

- remover, com maior frequência, a areia acumulada nos depósitos da caixa de desarenação;
- colocar em funcionamento duas unidades de desarenação;
- ampliar a área da seção transversal das caixas de areia.

8.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS OPERACIONAIS EM LAGOAS ANAERÓBIAS

Os principais problemas operacionais que ocorrem numa lagoa anaeróbica são:

- emanção de maus odores;
- crescimento de vegetação aquática nos diques internos;
- formação de escumas;

- proliferação de insetos.

8.2.1 Emissão de maus odores

É quase inevitável que, algumas vezes, se depreendam odores desagradáveis de uma estação de tratamento de esgotos, não importando qual seja o processo empregado.

A maioria dos odores é ocasionada por uma sobrecarga de matéria orgânica ou pela operação inadequada do processo.

As lagoas anaeróbias emitem sempre um odor característico nas vizinhanças dos dispositivos de alimentação e saída, e passam a ser incômodas à população, quando esta reside próxima dessas unidades de tratamento. Os odores estão associados à formação de compostos de sulfetos a baixas temperaturas (abaixo de 20°C).

As principais causas deste inconveniente são:

- procedimentos incorretos na partida inicial das lagoas;
- projeto das lagoas, com cargas orgânicas volumétricas acima das permissíveis, ou com o emprego de tempos de detenção muito reduzidos;
- tratamento de despejos líquidos com altas concentrações de sulfetos ou com a presença de substâncias tóxicas que inibem a fermentação metânica;
- queda repentina ou persistência de baixas temperaturas no conteúdo líquido das lagoas e
- admissão de despejos líquidos industriais que tendem a diminuir o pH dos esgotos abaixo de 6,5.

Causa a:

- operação inicial das lagoas.

Como Corrigir:

Sempre que possível, os seguintes procedimentos devem ser adotados no corregramento inicial das lagoas, para se assegurar uma população de bactérias metanogênicas em quantidade suficiente e evitar a acumulação dos ácidos orgânicos (voláteis) da primeira fase da fermentação:

- iniciar a operação das lagoas na estação de verão, ou nas épocas que as temperaturas médias do ambiente são superiores a 20°C;

- introduzir lodo digerido de uma ETE, tanque Imhoff ou de fossas sépticas inodoras, lançando-o na zona bentônica das lagoas, nas regiões circunvizinhas aos tubos de alimentação da lagoa;
- carregar a lagoa de maneira progressiva, evitando o lançamento brusco de toda a carga orgânica. Tais procedimentos são complementados com as instruções propostas no item 6.2.1 deste manual;
- ajustar o pH do conteúdo líquido, com o emprego de calcário em pó, bicarbonato de sódio, até que a neutralização seja obtida; essas operações só devem ser feitas quando a lagoa adquirir lâmina suficiente, de maneira a não afetar diretamente a camada bentônica do lodo inoculado. Esses compostos contêm oxigênio na sua composição e o oxigênio é bastante tóxico às bactérias metanogênicas.

Causa b:

- Cargas orgânicas elevadas ou utilização de pequenos tempos de detenção

Embora não se ignore que o emprego de cargas orgânicas elevadas (até 0,20 kg DBO/dia.m³) ou de detenções mínimas de 1 ou 2 dias não compromete a eficiência de remoção de DBO, quando prevalecem temperaturas elevadas na massa líquida (Tabela 4.5 do Capítulo 4 do manual), a exalação de maus odores é inevitável e chega a ser insuportável. Desde que exista uma distância das habitações em relação ao sistema, nas faixas preconizadas pelo presente manual, o despreendimento de odores só incomoda quem, diretamente, convive com o sistema.

Apesar de o critério mais indicado para dimensionar essas lagoas ser o da adoção de cargas orgânicas volumétricas e não superficiais, a nossa experiência tem confirmado que, quando a taxa de aplicação superficial supera os 1.500 kg DBO/ha.dia, a emissão de odores começa a gerar incômodos aos operadores, visitantes e, principalmente, à população que, inadvertidamente, habita próximo dessas instalações.

As causas dos maus odores, nesses casos, provêm de:

- .. sobrecargas propositais empregadas no projeto, com a finalidade principal de reduzir as áreas de espelho d'água. Nesses casos, a instalação já parte com pouca chance de que os despreendimentos de odores não venham ocorrer;

.. sobrecarga das lagoas em decorrência de elas terem alcançado a sua vida útil, isto é, o sistema atingiu o limite de sua capacidade de tratamento e necessita ser ampliado.

Como corrigir:

- ampliar o sistema de maneira a redistribuir as cargas orgânicas e, conseqüentemente, reduzi-las a níveis toleráveis;
- não projetar lagoas com cargas volumétricas elevadas, sem a prévia avaliação do comportamento das unidades experimentais, trabalhando nas condições previstas no projeto e em idênticas condições climáticas. O mau funcionamento decorrentes de falhas de projeto é difícil de ser reparado e a comunidade, afetada pelos incômodos, dificilmente, aceitará a lagoa de estabilização como um processo de tratamento.

Do ponto de vista operacional, entretanto, algumas medidas podem ser adotadas para o controle ou atenuação da emissão de maus odores:

- .. recircular uma parte do efluente de uma lagoa facultativa para a entrada da anaeróbia. Razões de 1 para 4 (1 volume de efluente para 4 volumes de águas residuárias brutas) até 1 para 2 podem ser utilizadas para atenuação do problema;
- .. introduzir vegetação em decomposição (folhas e galhos úmidos e/ou apodrecidos);
- .. aplicação de pó calcário ou cal para elevar o pH do líquido a valores levemente alcalinos (7,0 a 7,5);
- .. adicionar porções de nitrato de sódio (salitre do Chile) em vários pontos da lagoa, mantendo-a numa fase alcalina. Em solução, dosagens de até 60 mg/l podem ser necessárias;
- .. espargir cinza vegetal, em vários pontos da lagoa, até a neutralização do conteúdo líquido.

NOTA: a adição de cloro deve ser evitada, uma vez que, embora cause rapidamente o desaparecimento de maus odores, traz problemas posteriores para reinício das atividades biológicas necessárias ao tratamento.

Causa c:

- Presença de substâncias tóxicas

A exalação de maus odores nas lagoas anaeróbias, como nos digestores anaeróbios das estações convencionais de tratamento podem, também, ser provenientes da presença de sulfatos e metais

pesados, compostos esses que inibem as bactérias metanogênicas da digestão. Entretanto, tratando-se de esgotos predominantemente sanitários, foge do escopo deste manual abordar os efeitos desses compostos na inibição da fase metanogênica porque a presença deles nessas águas residuárias não chega a causar preocupação.

Como proceder:

- Os metais pesados, os praguicidas, os resíduos de fábricas de antibióticos e de indústrias diversas, quando lançados nas redes municipais, sem a prévia autorização dos órgãos estaduais de controle de poluição, deverão ser controlados na fonte, isto é, na própria indústria. Assim sendo, o operador deve notificar o Órgão Estadual de Controle de Poluição sobre o problema.

Causa d:

- Quedas bruscas e persistência de baixas temperaturas

Sabe-se que a atividade biológica da camada de lodo das lagoas anaeróbias e também das facultativas depende, principalmente, da temperatura ali predominante.

.. Quando ela cai abaixo dos 17°C , a produção de metano é significativamente reduzida e, praticamente, o lodo vai se acumulando sem sofrer decomposição; a eficiência da lagoa depende, quase exclusivamente, da decantação dos sólidos.

No inverno, quando a fermentação se processa lentamente, é muito provável que se formem placas de lodo flutuantes na superfície das lagoas e, como consequência, se apresentam odores devido a produção de gás sulfídrico.

.. Uma boa digestão pode ocorrer, e o problema de baixa temperatura ser eliminado, quando a lagoa receber também águas residuárias devidamente previstas no projeto de matadouros e frigoríficos (geralmente com temperaturas entre $27 - 30^{\circ}\text{C}$).

Normalmente, com a presença desses despejos, acumula-se na superfície da lagoa uma cobertura de material graxo que se solidifica. Esta cobertura proporciona o isolamento da lagoa, evita o resfriamento do líquido, previne a mistura da superfície pela ação dos ventos mantendo as condições anaeróbias do fundo e suprime a emissão de odores incômodos.

.. Profundidades pequenas podem, tanto no verão quando no inverno, levar à formação de escumas na superfície, onde as bo

lhas de gases arrastam consigo placas de lodo da zona bentônica.

- .. Durante os meses mais quentes, quando o líquido se aquece e a camada bentônica do lodo se encontra em plena atividade biológica, com uma grande produção de gases típicos da fermentação metânica, os odores devem ser mínimos, principalmente, em lagoas com grandes profundidades (acima dos 3,0 m).

Como corrigir:

- não existem maneiras práticas e econômicas para controle deste fator ambiental com vistas a manter a temperatura da camada de lodo acima dos 20°C.

Causa e:

- Predominância de baixos valores de pH nos esgotos afluentes

A principal causa deve estar relacionada com a presença de certos despejos industriais entre eles, os provenientes das indústrias de laticínios.

Como corrigir:

- adicionar, em caráter temporário ou definitivo, uma das substâncias alcalinas, relacionadas no item 8.2.1, alínea b, de maneira a elevar o pH dos esgotos a serem tratados;
- deve-se ter sempre em mente que a neutralização do pH não é, necessariamente, um remédio universal para todos os desequilíbrios dos processos anaeróbios de digestão.

Assim, quando se dispuser de um laboratório bem equipado deve-se, sempre que possível, medir a acidez volátil total (como ácido acético) e alcalinidade total (como carbonato de sódio) do lodo em digestão. É desejável que a relação acidez volátil total e alcalinidade total seja inferior a 0,1. A elevação desse valor é um sinal de um distúrbio iminente no processo de digestão, o que pode levar a suspender ou diminuir a alimentação da unidade por vários dias.

Como atenuar a propagação de maus odores

Uma maneira que, embora não elimine a emanção de odores agressivos, atenua a sua propagação para as áreas habitadas vizinhas, consiste na plantação de algumas fileiras de eucaliptos da espécie Citrodora. Tais fileiras de eucaliptos, que deverão circundar o conjunto depurador, podem ter de três a dez árvores de coroa e a primeira fileira, no caso das lagoas anaeróbias, deve ficar

distante 10 metros ou mais dos taludes, para evitar sombreamento no espelho líquido. O espaçamento entre árvores de uma fileira, bem como a distância entre duas fileiras pode ser de 3 a 5 metros.

8.2.2 Crescimento de vegetação

Quando se fala de problemas oriundos do crescimento de vegetais em lagoas, deve-se diferenciar dois tipos: as ervas aquáticas daninhas e os vegetais terrestres.

As ervas aquáticas daninhas, que constituem as pragas aquáticas, se acumulam nos taludes internos e lastros das lagoas.

Os vegetais terrestres compreendem os arbustos, ervas e capins que crescem externamente nas lagoas e suas circunvizinhanças.

Os vegetais aquáticos, ou ervas daninhas, estão sempre associados a um ciclo de problema, ou seja:

vegetais + insetos e larvas + sapos + roedores + cobras

O controle desses vegetais e sua remoção periódica, é indispensável para evitar a proliferação de mosquitos e garantir até a segurança dos diques.

Causas:

- operação inicial inadequada das lagoas;
- falta de conservação e manutenção dos diques internos.

Como corrigir:

- para evitar que a vegetação cresça no fundo das lagoas, basta iniciar o carregamento do sistema de acordo com as instruções propostas no Capítulo 6, item 6.2.1, deste manual;
- para as lagoas cuja operação inicial de carregamento foi negligenciada e a vegetação proliferou de forma exuberante, proporcionando um criadouro de mosquitos, o nível de água deve ser baixado, ou a lagoa ser até esvaziada por completo, para se arrancar estes vegetais pela raiz;
- as plantas aquáticas, como aguapés, devem ser retirados com auxílio de barcos e cordas ou dragas;
- os vegetais que surgem nos taludes internos, na altura do nível d'água, devem ser removidos pela raiz, tão logo ocorra o seu aparecimento.

É um trabalho que precisa ser repetido várias vezes, a fim de

se evitar a procriação de mosquitos e servir de depósitos para escumas superficiais. A técnica mais recomendada para se evitar a criação de ervas daninhas, no nível da lâmina d'água, é colocar lajotas de concreto, numa faixa de variação do nível d'água, em todo o perímetro da lagoa. Com isto, evitar-se-á, também, a erosão das margens devido a ação das ondas;

- para eliminação dos vegetais terrestres que ocorrem acima das placas de proteção contra corrosão poderá ser aplicado algum herbicida, desde que aprovado pelos órgãos estaduais de controle de poluição, ou com orientação técnica de algum órgão do Ministério da Agricultura (Casa da Lavoura). Uma prática recomendada é a aplicação de arsenito de sódio na proporção de 20 mg/m² de área a ser destruída.

8.2.3 Presença de mosquitos e moscas

Esses insetos podem proliferar nos seguintes casos:

- quando existe material gradeado ou areia removida não convenientemente enterrados, ou expostos ao ar livre, em algum local próximo das lagoas;
- quando existe vegetação ou espuma na faixa em que o nível d'água está em contato com o talude.

Os ovos depositados por esses insetos são muito frágeis e não resistem à ação superficial por ventos e correntes; por isso, não chegam a constituir problemas quando se mantêm as bordas e a lagoa em geral, livres de vegetação, e se controlam as escumas.

Como corrigir:

- o material removido da grade e da caixa de areia devem ser enterrados em valas previamente abertas. Para maior segurança, poderá ser lançado querosene sobre o material gradeado e, a seguir, com o devido cuidado, ateado fogo; logo em seguida, as cinzas devem ser cobertas com terra;
- o controle de vegetais deve ser feito de acordo com as instruções do item 8.2.2. Contudo, nas fases de projeto e construção podem ser adotadas algumas medidas que reduzam, ao máximo, a proliferação de mosquitos:
- projetar os dispositivos de saída com condições que permitam regular o nível d'água ou esvaziar, por completo, a lagoa;

- . antes de encher a lagoa, nivelar o fundo e eliminar toda a vegetação existente;
 - . manter em bom estado os taludes dos diques.
- a proliferação de moscas sobre as escumas que se formam nas lagoas pode ser combatida com a aplicação de algum pesticida ou inseticida, em quantidade adequada de modo a não prejudicar o funcionamento normal da lagoa e nem contrariar os regulamentos de proteção ambiental. Para definição do produto e suas doses, convém consultar, previamente, os órgãos do Ministério da Agricultura (Casas da Lavoura).
- O revolvimento da camada de espuma com o auxílio de um rastelo ou jateamento da camada de material flutuante são também empregados. Essas práticas, contudo, precisam ser mais bem investigadas e avaliadas quanto as suas vantagens e desvantagens. A retirada das natas e escumas superficiais é mais adequada no controle das larvas de Psychoda e de mosca doméstica, porque estes insetos não são aquáticos.

8.2.4 Aparecimento de animais roedores

Embora a presença de ratos nas lagoas de estabilização tenha sido muito rara, ela pode ocorrer em algumas situações:

- quando nas proximidades das lagoas existem lixões ou aterros sanitários construídos inadequadamente;
- quando ocorre adensamento populacional significativo nas circunvizinhanças das lagoas e a coleta do lixo domiciliar não se processa com a necessária frequência obrigando os moradores a descartá-los de forma inadequada nos fundos de quintais ou em monturos, em lotes desabitados;
- quando os diques das lagoas encontram-se desprotegidos das placas de concreto (faixa de proteção no nível d'água), mal conservadas ou mal compactados durante a construção.

Os ratos de esgotos ou de banhados formam, nos taludes internos das lagoas, verdadeiros túneis parcialmente submersos que chegam, com o tempo, a comprometer a estabilidade dos diques.

Essas escavações são facilmente perceptíveis e no caso de se elevar o nível de água na lagoa, os ratos tendem a formar novos túneis mais acima da água.

Como corrigir:

- evitar a construção de lagoas nas proximidades de lixões, visando remover as possíveis fontes de alimento desses roedores;
- o Departamento de Limpeza Pública local deve ser informado quanto a gravidade do problema e tomar providências, no tocante a coleta e destino adequado do lixo;
- compactar, durante a construção, os diques das lagoas e manter em bom estado os diques e bordas dos taludes internos;
- elevar e abaixar o nível de água da lagoa de 15 a 20 cm, deixando-o em cada profundidade, por várias semanas. Como os ratos de esgoto preferem túneis parcialmente submersos, a inundação temporária e o seu ressecamento possibilitam que eles abandonem esses esconderijos;
- se o problema persistir, consultar os órgãos locais de saúde para orientarem sobre outros sistemas de remoção, tais como armadilhas, raticidas, etc.

8.3 PRINCIPAIS PROBLEMAS OPERACIONAIS NAS LAGOAS FACULTATIVAS8.3.1 Escumas

A superfície líquida de uma lagoa de estabilização facultativa deve estar isenta de escumas, óleos e graxas, ou qualquer outro material que impeça a livre passagem dos raios luminosos através da massa líquida, prejudique a ação dos ventos e venha causar odores ou tornar-se um habitat favorável para proliferação de insetos.

Causas:

- flotação de placas de lodos que se desprendem do fundo, especialmente em lagoas muito rasas e nos meses de verão (predominância de temperaturas elevadas);
- admissão de esgotos com elevadas quantidades de óleos e graxas;
- floração de algas que chega a formar uma nata esverdeada sobre a superfície líquida, que se desloca para os cantos das lagoas pela ação dos ventos. Essa nata dificulta a passagem da luz e, se não for destruída, surgirão maus odores na lagoa devido à sua morte.

Como corrigir:

- desagregar os flocos de lodo e quebrar as escumas com jatos d'água, rastelos ou barcos a motor;

- remover, sempre que possível, a espuma utilizando peneira de pano presa a um cabo comprido de madeira. A espuma coletada deve ser enterrada em valas previamente abertas no solo ou disposta no solo e posteriormente incinerada.
- no caso de lagoa facultativa secundária, colocar anteparos nas caixas de saída da lagoa primária de modo a impedir a passagem de materiais flutuantes.

8.3.2 Emissão de maus odores

Os odores são geralmente incômodos ao público e têm como causas:

- sobrecarga orgânica;
- longos períodos com tempo nublado e baixas temperaturas;
- presença de substâncias tóxicas nos esgotos;
- formação de curto-circuitos e zonas mortas nas lagoas e
- presença de massas flutuantes de algas na superfície líquida.

Causa a:

- Sobrecarga orgânica

A sobrecarga de esgotos numa lagoa de estabilização facultativa está sempre acompanhada de um abaixamento de pH, queda do nível do oxigênio, mudança na cor do efluente de verde escuro para verde amarelado, aparecimento de manchas acinzentadas junto à alimentação do afluente e surgimento concomitante de odores incômodos.

Como corrigir:

- no caso de existirem duas células facultativas, aquela que apresentar o problema deverá ser retirada de operação, até que se recupere, enquanto se coloca em operação a segunda célula; com a alimentação em paralelo poder-se-á, reduzir o carregamento;
- caso exista uma única célula, poder-se-á, através de bombas e mangote, recircular o efluente da lagoa para o afluente da própria lagoa, de modo a adicionar oxigênio dissolvido e distribuir a concentração de sólidos. Razões de recirculação de 1 para 4 ou 1 para 6 são normalmente empregadas;
- havendo disponibilidade de aeradores superficiais suficientes, estes poderão ser instalados temporariamente para melhorar a mistura e a oxigenação;
- no caso de haver uma única entrada, o fluxo deverá ser distribuí

do através de múltiplas entradas, evitando-se os problemas de curto-circuito ou caminhos preferenciais do fluxo dentro da lagoa.

Causa b:

- Longos períodos com temperatura baixa e tempo nublado

Neste caso, a produção de oxigênio será bastante afetada, chegando-se a ter OD igual a zero, mesmo nos períodos diurnos.

Como corrigir:

- havendo disponibilidade, instalar aeradores superficiais junto à entrada do afluente, de maneira a completar, com aeração mecânica, a produção de oxigênio pelas algas;
- recircular o efluente, utilizando bombas portáteis, para a entrada da lagoa.

Causa c:

- Presença de substâncias tóxicas nos esgotos

Quando, numa lagoa facultativa que se encontra em operação normal, ocorrem repentinas condições anaeróbias, o operador deve, imediatamente, solicitar ao laboratório central de sua Companhia a realização de uma análise físico-química completa do afluente.

Os resultados dessa análise poderão indicar altos teores de substâncias tóxicas provenientes de lançamentos de resíduos industriais.

Como proceder:

- percorrer o emissário e a rede local junto às indústrias que se localizam na bacia contribuinte, verificando através de análises físico-químicas, a composição desses esgotos industriais. Neste caso, sendo comprovadas concentrações de substâncias tóxicas acima dos limites permissíveis, deverá ser acionada a área competente dentro da Companhia para que tome as providências cabíveis dentro da legislação vigente.

Causa d:

- Formação de correntes preferenciais provocando curto-circuitos

A ocorrência de curto-circuitos pode ser indiciada por problemas de odores, baixas concentrações de oxigênio dissolvido em partes da lagoa, condições anaeróbias e baixo pH. Esta indicação poderá ser verificada pela determinação de oxigênio dissol

vido em vários pontos da lagoa. Ocorrendo diferenças de 100 a 200 %, nos valores de OD, é bastante provável que não esteja havendo uma boa distribuição de esgotos na lagoa. As áreas que não estão recebendo boa circulação caracterizam-se por baixos valores de OD e pH.

Os curtos-circuitos podem decorrer de:

- presença de vegetais aquáticos no interior da lagoa;
- má distribuição do afluente em relação a forma geométrica da lagoa;
- árvores ou cercas que impeçam a ação dos ventos e
- irregularidades do fundo da lagoa.

Como corrigir:

- quanto aos vegetais aquáticos, cortá-los e removê-los. Mas o ideal é iniciar a operação da lagoa de maneira eficiente (Capítulo 6, item 6.2.2);
- em caso de entradas múltiplas de afluente, regularizar uniformemente a distribuição das mesmas;
- em caso de entrada única de esgotos, efetuar pequena obra de reparos para ampliar o número de entradas, procurar igualar as vazões em cada entrada;
- em caso de entrada de esgotos através de tubulação que avança demais lagoa adentro, cortar e retirar a maior extensão dos tubos alimentadores, deixando suas extremidades com apenas um ou dois metros além da saia interior dos taludes;
- guardar distância mínima de vinte metros entre as margens e as árvores e cercas que circudam as lagoas;
- regularizar o fundo da lagoa.

Causa e:

- Presença de massa flutuante de algas na superfície líquida.
Ver item 8.3.1.

Como atenuar a propagação de maus odores

Ver item 8.2.1, pag. 128 . No caso de lagoas facultativas, a primeira fileira de eucaliptos deve distar de 30 metros ou mais dos taludes.

8.3.3 Vegetação

A presença de vegetação no lastro e no meio líquido da lagoa pode

prejudicar a passagem de raios luminosos e a ação dos ventos no meio líquido e causar problemas de curto-circuitos, além de constituir habitats de insetos. A vegetação que aparece nos taludes, à altura da linha d'água, pode constituir habitat tanto de insetos quanto de roedores. A vegetação terrestre de grande porte pode trazer problemas de diminuição de insolação e ação dos ventos.

Causas:

- início de operação inadequada;
- falta de manutenção das bordas e diques internos das lagoas;
- utilização de lâmina líquida abaixo de 0,90 m.

Como corrigir:

- Ver item 8.2.2.

8.3.4 Presença de larvas de insetos e insetos na lagoa e na área que circunda

Causas:

- material gradeado ou areia removida não enterrados convenientemente;
- presença de escumas;
- presença de vegetação.

Como corrigir:

- enterrar o material removido das grades e caixas de areia em valas previamente abertas. Se se quiser, pode-se lançar querosene sobre o material gradeado, atear fogo e logo em seguida cobri-lo com terra, nivelando-se o terreno. Quebrar e/ou remover a espuma segundo o item 8.3.1. Quanto à vegetação, ver item 8.3.3;
- rebaixando-se o nível de água da lagoa, as larvas que se encontrarem presas aos vegetais junto aos taludes desaparecerão quando esta área secar. A oscilação alternada e periódica do nível de água da lagoa é uma operação que diminui o aparecimento de larvas de diversos insetos. A ilustração 8.1 mostra o ciclo de vida do mosquito Anopheles (vetor da malária) e o Culex (vetor da filariose). Os primeiros são menos comuns nas lagoas de estabilização;
- em caso de grandes quantidades de moscas, poderão ser aplicados produtos químicos (BHC, DDT e outros) nos taludes internos, nas

concentrações especificadas pelos seus fabricantes. A destruição e coleta de escumas também previne o aparecimento de moscas; - dependendo da concentração de OD (oxigênio dissolvido) presente na massa líquida, a proliferação de insetos pode ser também combatida mediante a colocação de peixes nas lagoas de estabilização (carpas, tilápias e gambúsia). Como nas horas noturnas, a concentração de OD tende a valores nulos, não permitindo, portanto, a criação de peixes, é necessário um sistema de recirculação com água limpa através de chuveiros que devem ser dispostos à maior altura possível sobre o espelho líquido da lagoa. Uma outra prática recomendada é a diluição do líquido da lagoa com água limpa na proporção de até 1:20⁽¹⁾. Para impedir a evasão de peixes da lagoa, os dispositivos de saída do efluente deverão ser antecidos por telas ou peneiras finas de nylon circundando os vertedores.

8.3.5 Controle de algas azuis

A floração de algas azuis geralmente vem acompanhada de baixos valores de pH (< 6,5), OD menores do que 1 mg/l e, quando elas morrem, há emissão de odores desagradáveis.

Causas:

- indicação de tratamento incompleto;
- sobrecarga de esgotos;
- balanço inadequado de nutrientes.

Como corrigir:

- fazer 3 aplicações de solução de sulfato de cobre:
 - .. se a alcalinidade total for superior a 50 mg/l, aplicar 1 g de sulfato de cobre por m³ de água na lagoa;
 - .. se a alcalinidade total for inferior a 50 mg/l, reduzir para 0,5 g de sulfato de cobre por m³.
- destruir as natas de algas com o emprego de barco a motor ou bomba portátil e esguicho de água sob pressão. O motor do barco deve ser refrigerado a ar de modo a se evitar o seu entupimento por algas.

8.3.6 Controle de algas filamentosas

Essas algas limitam a penetração da radiação solar no líquido e

podem entupir as tubulações de saída da lagoa. Esse tipo de alga aparece em lagoas com cargas orgânicas baixas.

Causas:

- superdimensionamento da lagoa;
- vazões baixas em certas estações do ano.

Como corrigir:

- reduzir o número de células em uso, aumentando, dessa maneira, a carga orgânica aplicada;
- a dispersão das natas por jateamento de água e destruição por meios mecânicos não são eficientes.

8.3.7 Controle de algas no efluente

A maior parte dos sólidos suspensos presentes no efluente decorre da presença de algas. Como muitas são unicelulares e imóveis, é difícil removê-las.

Causas:

- condições de temperatura e clima que favorecem o crescimento dessas algas.

Como corrigir:

- retirar o efluente a partir de 0,20 m abaixo da superfície líquida e instalar também uma cortina retentora de sobrenadante acoplada aos dispositivos de saída da lagoa;
- empregar lagoas múltiplas em série ou acrescentar unidades adicionais de tratamento, tais como filtros intermitentes de areia.

8.3.8 Declínio do pH

O pH do meio controla os diversos tipos de algas, como por exemplo, as algas verdes necessitam de pH entre 8,0 e 8,4. O pH e o OD variam durante o dia, com predominância de seus menores valores ao nascer do sol e os mais elevados no período da tarde.

Causas:

O declínio do pH é seguido por uma queda no OD com morte de algas verdes. Isto é muitas vezes causado por:

- sobrecarga;
- longos períodos com condições meteorológicas adversas;

- presença de animais tais como a Daphnia, que se alimentam de algas.

Como corrigir:

- desativar temporariamente a célula e deixá-la se restabelecer;
- colocar em operação outra lagoa em paralelo;
- recircular o efluente da lagoa;
- verificar os possíveis curto-circuitos;
- no caso de sobrecarga, instalar aeradores superficiais;
- verificar possíveis causas de toxicidade ou mortandade das algas e corrigi-las na própria fonte.

Observa-se que os procedimentos são quase idênticos ao do item 8.3.2. Isto demonstra as interações complexas existentes entre os sintomas de uma sobrecarga e a tendência do decréscimo dos valores de pH do conteúdo líquido das lagoas.

CAPÍTULO 9

ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA E SEGURANÇA

9.1 ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA

As lagoas de estabilização, como qualquer sistema de tratamento de esgotos, precisam ser consideradas com muita cautela do ponto de vista de saúde pública, tanto pelos operadores quanto pela população das circunvizinhanças.

Para reduzir o impacto no meio ambiente, o efluente só deverá ser descarregado quando se estabelecer uma comunidade biológica balanceada entre algas e bactérias e for assegurado um efluente de boa qualidade. As lagoas devem ser utilizadas somente para atender aos objetivos para os quais elas foram projetadas:

- Não devem ser utilizadas pelo público, como área de recreação. Muitas vezes, por constituir maior espelho d'água existente na região, é comum o crescente aparecimento de pássaros, das mais variadas espécies e isto pode constituir ponto de atração para passeios.

Os pássaros, todavia, desempenham um papel na transmissão de bactérias patogênicas, uma vez que expostos a um ambiente contaminado por fezes humanas, podem transportar, mecanicamente, essas bactérias para outras coleções de água, como represas e, a partir daí, afetar a saúde humana.

Essa fonte de contaminação não chega a ser preocupante porque, naturalmente, o meio aquático não constitui um meio propício para o crescimento bacteriano.

Os pássaros podem, também, atuar como um reservatório de insetos (mosquitos) contaminados por "arbovirus" e, posteriormente, transmitir doença ao homem que venha a se alimentar dessas aves infectadas.

- Outro aspecto importante de saúde pública é a existência de mosquitos que, além de trazer incômodos à vizinhança das lagoas, podem ser vetores de várias doenças, entre eles os da espécie Culex, responsável pela filariose. Porém, num sistema de lagoas de estabilização bem projetado e mantido, sem vegetação emergen

te nos diques internos, não há procriação desses insetos.

- Embora as lagoas de estabilização em série sejam mais eficientes que as estações convencionais na remoção de bactérias e vírus, existe a possibilidade de contaminação ou infecção por organismos patogênicos. Como medida preventiva, os operadores das lagoas de estabilização devem ser orientados para fornecer informações ao público e visitantes, em geral, no sentido de conscientizá-los sobre esses riscos, embora o efluente, de uma associação de lagoas em série, apresente um aspecto agradável e inofensivo.

9.2 HIGIENE PESSOAL DO OPERADOR E SEUS AJUDANTES

No interesse da sua saúde e da sua família, toda a equipe que opera um sistema de lagoas de estabilização deve ser conscientizado que:

- precisa lavar as mãos, antes de acender um cigarro ou de comer qualquer alimento;
- deverão ficar no local de trabalho: macacão, capa de chuva, luvas, botas e capacetes. Não usá-los nos ônibus ou na sua casa;
- deverão, após o uso, ser lavadas em água limpa todas as ferramentas; pás, enxadas, picaretas, rastelos, etc. Não deverão ser guardadas ou utilizadas por outras pessoas, mesmo que precisem delas com urgência, sem lavá-las previamente;
- as unhas grandes e sujas são meios de transmissão de doenças; devem ser mantidas limpas e aparadas.

9.3 SEGURANÇA

- De acordo com a orientação médica, imunizar, periodicamente, os empregados contra febre tifóide e tétano, mediante o uso de vacinas.
- Caso ocorra algum corte nos dedos, ou arranhão nos braços, limpar imediatamente a área com água limpa e aplicar solução de iodo a 22%, mercúrio cromo ou outro agente apropriado.
- Manter todas as caixas de passagens, entradas e saídas das lagoas protegidas com grades e guarda-copos, bem como todos os passadiços, pontes ou canais em que o pessoal esteja exposto a queda.

- Prever água potável para beber, evitando qualquer contaminação da fonte de água potável com canalização de esgotos.
- Descer em qualquer poço de visita, escada de marinheiro ou caixa de passagem com muito cuidado por causa tanto da emanção de gases tóxicos, quanto das peças enferrujadas devido aos gases de esgotos.
- Manter sempre um estojo de primeiros socorros em local visível. Repor, periodicamente, os materiais utilizados.
- Manter limpo o ambiente de trabalho, o que envolve a limpeza do chão e paredes da casa do operador, os equipamentos de laboratórios e, principalmente, as instalações sanitárias.
- Conservar as vias de circulação, mantendo-as isentas de susbtâncias escorregadias.
- Evitar brincadeiras com colegas perto das lagoas, pois uma queda nessas unidades poderá vir a ser fatal.
- Manter junto à área da lagoa, barco, cordas, bóias e salva-vidas.
- Na operação de painéis elétricos das bombas de recirculação ou de alimentação da área da estação, ter a certeza que as mãos, roupas ou sapatos não estejam úmidos. Sempre usar luvas apropriadas no momento da manutenção elétrica. Prever a instalação de extintores de incêndio.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- (1) ARCEIVALA, S.J. Wastewater treatment and disposal - engineering and ecology in pollution control. New York, Marcel Dekker, 1981. 892 p.
- (2) AZEVEDO NETTO, J.M. & ALVAREZ, G.A. Manual de hidrologia - 7 ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1982, 2 v.
- (3) AZEVEDO NETTO, J.M. & HESS, M.L. Tratamento de águas residuárias. São Paulo, DAE, 1970. Separata da Revista DAE. São Paulo, DAE, (46-8), 1965.
- (4) BABBITT, H.E. & BAUMANN, E.R. Alcantarillado y tratamiento de águas negras. Trad. José Luis de la Lona. 6 ed. Mexico, Compañia Editorial Continental, S.A., 1977. 881 p.
- (5) BENEFIELD, L.D. & RANDALL, C.W. Biological process design for wastewater treatment. New Jersey, Prentice-Hall, 1982. p. 322-90.
- (6) BRANCO, S.M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária - 2 ed. São Paulo, CETESB, 1978. 620 p.
- (7) BRUNO, D.P. & TSUTIYA, M.T. Infiltração de água em coletores de esgotos sanitários. São Paulo, SABESP, 1983. 24 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Camboriú, 1983).
- (8) CABRAL JUNIOR, D. Caracterização dos esgotos domésticos e avaliação da contribuição "per capita no Conjunto Residencial Cidade Vista Verde - São José dos Campos - S.P. Tau CETESB, 1975. 46 p. (Relatório componente do Projeto Brasil 2103 - modelo matemático do rio Paraíba).
- (9) CETESB, São Paulo. Condições de funcionamento de sete lagoas de estabilização no Estado de São Paulo. Revista DAE, São Paulo, SABESP, 41 (124): 55-74, 1981.

- (10) CETESB, São Paulo. Diagnóstico ambiental da bacia do Rio São Domingos - Projeto DAEE 454.915. São Paulo, 1984.
- (11) CETESB, São Paulo. Opções de tratamento de esgotos para comunidades de pequeno porte. São Paulo, 1985. (a ser publicado).
- (12) CETESB, São Paulo. Manual técnico de operação e manutenção de lagoas de estabilização. São Paulo, 1981.
- (13) CETESB, São Paulo. Medidor Parshall - Normalização Técnica: E2.150. São Paulo, 1977. 23 p.
- (14) DARLEY, W.M. Algal biology: a physiological approach. London, Blackwell Scientific Publications, 1982. 168 p. (J.F. Wilkinson, Basic Microbiology, 9).
- (15) DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, Albany. Manual de tratamiento de aguas negras. Trad. de Cesar Falcon. 5 ed. México, Editorial Limusa, 1976. 304 p.
- (16) FARIA, J.E. Lagoas de tratamento de esgotos. São Paulo, CETESB, 1980. 32 p. (Apostila do curso "Operação e controle de estação de tratamento de águas residuárias de indústrias alimentícias", São Paulo, CETESB, 1980).
- (17) GUZMÁN, C.G. Lagunas de estabilización: facultativas, anaerobias, aerobias artificiales, aerobias fotossintéticas y con lirio acuático. In: SARH - Subsecretaria de Planeación - Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica - Subdirección de Área de Investigación y Entrenamiento. Operación de plantas de tratamiento primario de aguas residuales - manual "C", vol. 2. México p. 169-243.
- (18) HAMMER, M.J. Sistemas de abastecimento de água e esgotos. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979. 563 p.
- (19) IMHOFF, K. Manual de tratamento de águas residuárias. Trad. por Max Lothar Hess. São Paulo, Edgard Blücher. (Tradução da 21 ed. alemã, 1966).

- (20) KAWAI, H. et alii. Estabelecimento de critérios para dimensionamento de lagoa de estabilização. Revista DAE, São Paulo, SABESP, 41 (127): 37-45, dez. 1981.
- (21) KAWAI, H. & GRIECO, V.M. Utilização do aguapé para tratamento de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. Revista DAE, São Paulo, SABESP, 44 (135):85, dez. 1983.
- (22) LAGOON SYMPOSIUM COMMITTEE. Missouri Basin Engineering Health Council. Internacional symposium for waste treatment lagoons, 2. Kansas City, Ross E. McKinney, 1970. 404 p.
- (23) LEE, G.F. et alii. La eutrofización de las aguas superficiales: estudio de un problema antiquísimo. Ingeniería Sanitaria, Rio de Janeiro, AIDIS, 22 (4) e 23 (1-2): 298-306, abr/dic. 1979.
- (24) MATSUSHITA, A.T. Estudo experimental sobre lagoas de estabilização para esgoto sanitário. 1972. 58 p. (Dissertação de mestrado apresentado à escola de Engenharia de São Carlos). 58 p.
- (25) METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 2 ed. United States of America, Mc Graw-Hill, 1979, 920 p.
- (26) O'CONNOR, D.J.; THOMANN, R.V.; DI TORO, D.M. Dynamic water quality - forecasting and management, Washington - D.C., EPA, 1973, 201 p.
- (27) PESSÔA, C.A. & JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos. 2 ed. Rio de Janeiro, ABES/BNH, 1982. 536 p.
- (28) POLPRASERT, C. et alii. Septic tank and septic systems. Environmental sanitation reviews. Bangkok-Thailand, ENSIC (7/8): 9, Apr. 1982.

- (29) ROUND, F.E. Biologia das algas. Trad. de Francisco Perlingeiro Neto. 2 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983, 263 p.
- (30) SANCHES, A. & VARGAS, C. Puesta en marcha y primeira etapa de experimentacion en lagunas de estabilizacion de Melipilla. Santiago-Chile, Universidad de Chile - Sede Occidente - Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas - Departamento de Obras Civiles - Seccion Ingeniera Sanitaria, 1972. 422 p.
- (31) SILVA, M.O.S.A. Lagoas de estabilização. São Paulo, CETESB, 1977. 65 p. (Apostila do curso: Projeto de valos de oxidação e lagoas de estabilização, São Paulo, CETESB, 1977).
- (32) _____ . Lagoas de estabilização - Aspectos biológicos e dados de operação. São Paulo, CETESB, 1977. 32 p. (Apostila do curso: Projeto de valos de oxidação e lagoas de estabilização, São Paulo, CETESB, 1977).
- (33) _____ . Sedimentação de lodo em lagoas de estabilização. São Paulo, SEEBLA, 1983. 19 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Camboriú, 1983).
- (34) SILVA, S.A. & MARA, D.D. Tratamentos biológicos de águas residuárias - lagoas de estabilização. Rio de Janeiro, ABES, 1979. 140 p.
- (35) TECHNICAL PRACTICE COMMITTEE - SUB COMMITTEE ON OPERATIONAL OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Washington, D.C. Operation of wastewater treatment plants. Washington, D.C. 1968. 178 p. (WPCF Manual of Practice, 11).
- (36) UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Facultad de Ingenierie. Instituto de Ingenieria Sanitaria. Argentina. Lagunas de estabilización. Buenos Aires, 1971. 142 p. (Publicación; 9).

- (37) VICTORETTI, B.A. et alii. Lagoas de estabilização. São Paulo, Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1967.
- (38) VIDAL, W.L. & TREMAROLI, D. Aperfeiçoamentos hidráulicos no projeto de lagoas de estabilização, visando redução da área de tratamento: uma aplicação prática. São Paulo, CETESB, 1983. 37 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Camboriú, 1983).
- (39) WARD & WIPPLE. Freshwater biology, 2 ed. Washington, W.T. Edmondson; 1945.
- (40) ZICKEFOOSE, C. & HAYES, R.B.J. Operations manual - stabilization ponds. Washington - D.C., EPA, 1977, 79 p.