

# Utilização de peixes para melhorar o desempenho de lagoas de estabilização (\*)

Carlos Eduardo Matheus (1)

## 1 Introdução

A grande vantagem das lagoas de estabilização é o fato de serem meios relativamente baratos e muito eficientes para tratamento de resíduos orgânicos. São de fácil construção, mínimo de manutenção e nenhuma mecanização. Portanto, constituem a solução ideal e aplicável às condições sócio-econômicas e climáticas dos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Segundo Silva & Mara (1979), lagoas de estabilização são, sem dúvida alguma, o mais importante processo de tratamento de águas residuárias nos climas tropicais, onde normalmente se dispõe de terrenos a custos relativamente baixos e onde a temperatura e luminosidade são favoráveis ao seu desempenho. O reduzido custo de construção e operação das lagoas de estabilização, comparado àqueles dos métodos convencionais de tratamento, é a principal razão de sua aceitação, principalmente nas pequenas comunidades.

Os sistemas de tratamento de resíduos mais comumente propostos pelos engenheiros sanitários são unidades de lodo ativado, lagoas aeradas e outros sistemas convencionais. Enquanto que as exigências de espaço para tais sistemas são relativamente baixas, eles necessitam de muito capital para sua construção (aplicados na compra de material, equipamentos etc.) e são caríssimos para operar e manter, devido ao custo da eletricidade e com necessidade de supervisão por especialistas.

Grande parte dos profissionais de engenharia sanitária continua a recomendar a construção de tais unidades de tratamento de resíduos; entretanto, os mais esclarecidos membros de sua profissão consideram que lagoas de estabilização são os mais desejáveis métodos para países em desenvolvimento, para pequenas e médias popu-

lações — se a terra é disponível (Mara, 1976).

Portanto, as lagoas de estabilização, por serem comprovadamente eficientes e possuírem as inúmeras vantagens citadas, devem ser mais intensamente estudadas a fim de serem otimizadas.

Uma das perspectivas é a utilização de peixes que possam funcionar como condicionadores do sistema, ou seja, que, através de seu comportamento biológico, promovam maior estabilidade das condições hidrobiológicas e um efluente de melhor qualidade.

Em 1974, Lin (citado em Buck et al, 1978) propôs a exploração dos hábitos alimentares de certos peixes, como as carpas por exemplo, para purificar águas residuárias municipais, como uma alternativa aos mais dispendiosos sistemas de tratamento convencionais. Carpenter et al (1975) obteve qualidade de efluente significativamente mais alta, utilizando *Tilapia nilotica* e outros peixes, em sistemas de lagoas de estabilização.

De acordo com Schroeder (1975), melhoramentos significativos na qualidade da água foram alcançados pela estocagem de peixes em lagoas de estabilização para tratamento de resíduos domésticos. Em experiências onde introduziu peixes em lagoas de estabilização, esse pesquisador verificou que a adição de peixes à lagoa concorreu para a redução das populações de plâncton e bentos, aumentando a média de oxigênio dissolvido e elevando o pH. Todas essas alterações são favoráveis à efetividade da lagoa de tratamento de resíduos no que se refere à redução de DBO (Demanda Bioquímica do Oxigênio), coliformes fecais e remoção de nutrientes da água.

Em alguns países europeus, entre eles a Alemanha, desde longa data, vêm sendo utilizados tanques de criação de peixes para melhorar as condições de efluentes de estações convencionais de tratamento de esgotos (Victorette, 1964).

No Brasil, pouco se conhece sobre este assunto. Entretanto, devem ser destacados os estudos de Matheus & Barbieri (1983) e Matheus (1984). Neste último trabalho não só ficou de-

monstrada a incrível capacidade de adaptação da espécie *Sarotherodon niloticus* em ambientes altamente entrozizados de lagoas de estabilização como também ficou revelada a importante função de elemento condicionador que este peixe desempenha nesses sistemas de tratamento de resíduos orgânicos. O presente trabalho enfatiza este último aspecto.

## 2 Objetivos

O objetivo da pesquisa relaciona-se com a possibilidade de melhoria do funcionamento da lagoa de estabilização, com a presença de peixes.

Acreditamos que este aspecto seja pouco conhecido no Brasil e, portanto, a obtenção de dados científicos concretos, dentro de nossas realidades, é de extrema importância, principalmente pela falta de informação sobre o assunto.

Dessa forma, foram considerados problemas de saúde pública e proteção ambiental e os resultados obtidos poderão, sem dúvida, fornecer valioso suporte científico a outros pesquisadores que queiram trabalhar nesta área.

## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Descrição do Sistema

O trabalho experimental foi desenvolvido no CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, vinculado ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Este local situa-se às margens da represa do Lobo, no município de Itirapina, distante aproximadamente 15 km de São Carlos, SP.

Os trabalhos foram executados utilizando-se três modelos de lagoas de estabilização, construídos em alvenaria, sendo dois exatamente iguais, com 3 m de diâmetro por 1 m de profundidade e ambos funcionaram como lagoas facultativas. Estas lagoas facultativas (F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>) recebiam diariamente 200 l de resíduos (fezes de suínos diluídas) com uma concentração de matéria orgânica similar à de um esgoto doméstico, ou

\* Trabalho desenvolvido no CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, do Departamento de Hidráulica e Saneamento, da Escola de Engenharia de São Carlos-USP.  
(1) Biólogo — Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

seja, contendo uma suspensão de aproximadamente 200/300 mg/l de DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio. Este material provinha de decantadores e misturadores primários (para remoção de sólidos grosseiros), os quais foram construídos com caixas de cimento amianto de 1000 l.

A 3.ª lagoa totalizava 5 m de diâmetro com a mesma profundidade das outras (1 m) sendo que esta estava conectada em série com uma das primeiras (lagoa facultativa 2). Desta forma, funcionava como uma lagoa de maturação recebendo um efluente já clarificado. Nela, foram estocados exemplares da tilápia do Nilo (fig. 1) em uma densidade de dez indivíduos por m<sup>2</sup>.

Na lagoa facultativa 2 (F<sub>2</sub>) também foram colocados peixes com a mesma densidade de estocagem utilizada na lagoa de maturação. Este procedimento teve como objetivo obter informações a respeito da influência dos peixes no tratamento biológico, através do estudo comparativo entre o funcionamento desta lagoa e a facultativa 1 (F<sub>1</sub>), sem peixes.

Todas as lagoas estavam enterradas 80 cm do solo e tinham uma borda protetora de 20 cm. A saída, ao nível do solo, mantinha uma constante coluna d'água de 80 cm, perfazendo um volume aproximado de 5.650 l nas lagoas facultativas e 15.700 l na lagoa de maturação.

O tempo de detenção nas duas lagoas facultativas era de 28 dias aproximadamente (5.650 l divididos por 200 l introduzidos), enquanto que para a lagoa de maturação foi em torno de 78 dias (15.700 l divididos por 200 l introduzidos).

O preparo do "esgoto" obedeceu ao seguinte esquema: o excremento de porco introduzido nas caixas de cimento, em uma quantidade aproximada de 2 l de fezes, era misturado com 300 l de água da represa do Lobo. Depois de uma agitação mecânica para homogeneização do material e após uma hora de decantação, parte do sobrenadante (200 l) de cada decantador era introduzido na lagoa facultativa correspondente, através de uma saída (cano com 3/4 de polegada) provida de registro para regularização da vazão.

Portanto, dos 300 l da suspensão existentes, somente 200 da parcela superior eram utilizados. Os 100 l restantes, juntamente com o material sedimentado (que ficava abaixo do nível do registro), eram retirados por uma saída de fundo.

O tempo de carga era de aproximadamente três horas e iniciava-se, geralmente, às 9 h, e, à medida que o resíduo a ser tratado era introduzido, o nível da água era mantido constante

pela saída de cada lagoa, situada na extremidade oposta do diâmetro de entrada.

Todas essas etapas eram realizadas, sistematicamente, todos os dias, sendo que os decantadores, antes de ser recarregados, eram esgotados e limpos.

### 3.2 Caracterização do resíduo

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas fezes de suínos como material a ser estabilizado, por várias razões. Entre elas, as principais foram:

- a) dificuldade de se obter esgoto doméstico na região;
- b) facilidade em poder criar porcos no local;
- c) semelhança entre o resíduo de porco e fezes humanas.

Além disso, o resíduo é bem representativo de material orgânico desperdiçado em regiões agropecuárias, o que torna a pesquisa mais próxima de nossa realidade rural.

O material fecal foi "corrigido" através de diluições, para se obter uma concentração semelhante à de um esgoto doméstico perfeitamente tratável por processos de lagoas de estabilização. Depois deste procedimento, o esgoto foi caracterizado através das seguintes análises:

- DRO-Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO-Demanda Química de Oxigênio
- Nitrogênio total
- Nitrogênio orgânico
- Nitrogênio amoniacal
- Fósforo total
- Sólidos sedimentáveis
- Sólidos totais (suspensos)
- Sólidos fixos e voláteis (suspensos)

### 3.3 Coleta e Análise de Dados

A partir de julho (1982) até junho (1983) foram realizadas coletas para estudos das variáveis ambientais hidrológicas e biológicas, completando-se um ciclo sazonal.

As análises físico-químicas e biológicas do ambiente foram realizadas no laboratório de hidrobiologia do CRHEA, eliminando, desta forma, o inconveniente do transporte a grandes distâncias.

A coleta de dados para análises foi realizada com a seguinte frequência:

- temperatura da água (superfície e fundo) — 3 vezes por semana — manhã e tarde;
- pH (superfície e fundo) — 3 vezes por semana — manhã e tarde;

- oxigênio dissolvido (superfície e fundo) — 3 vezes por semana — manhã e tarde;
- transparência (disco de Secchi) — 3 vezes por semana — manhã;
- temperaturas máximas e mínimas — diariamente — manhã;
- DBO — quinzenalmente;
- DQO — quinzenalmente;
- clorofila — quinzenalmente;
- nitrogênio — quinzenalmente;
- fósforo — quinzenalmente;
- sólidos — quinzenalmente;
- fitoplâncton — quinzenalmente;
- lodo — final do experimento.

No primeiro mês de trabalhos experimentais, as amostragens de pH, temperatura da água e oxigênio dissolvido, além das leituras no disco de Secchi, foram realizadas diariamente, período este que correspondeu à fase em que o sistema estava entrando em equilíbrio. A partir do mês seguinte, constatada a estabilidade das lagoas, ficaram estabelecidas coletas de duas a três vezes por semana para essas variáveis.

Mensalmente, também foram efetuadas medidas para estabelecer a variação do oxigênio dissolvido e pH em um período de 24 horas, utilizando-se intervalos de três horas entre uma coleta e outra. Em todas estas ocasiões, verificou-se que o padrão de flutuação destas variáveis sempre foi o mesmo, não ocorrendo, portanto, diferenças significativas no decorrer dos meses. Assim sendo, ficou resolvido representar as variações através de um único período de 24 horas somente.

#### 3.3.1 Variáveis Ambientais Hidrológicas (físico-químicas e biológicas)

A metodologia utilizada seguiu as recomendações do Standard Methods (1976), com exceção da clorofila, cujo método foi descrito por Golterman & Clymo (1971).

##### a) Temperatura da água

Foi tomada com um termômetro de mercúrio comum, com sensibilidade de 0,5 grau. As medidas eram realizadas de manhã — (9h00) e no período da tarde — (15h00), tanto na superfície (20 cm de profundidade) como no fundo (60 cm de profundidade), geralmente duas a três vezes por semana. A mesma periodicidade de procedimento foi utilizada para as determinações de pH e oxigênio dissolvido. Todavia, as temperaturas máximas e mínimas foram tomadas diariamente, com um termômetro próprio, instalado a 20 cm de profundidade em cada uma das lagoas de estabilização contendo peixes.

#### b) Transparência da água

Foi utilizado um disco de Secchi, de 30 cm de diâmetro, pintado de branco, suspenso por um cordão de náilon, previamente marcado de 10 em 10 cm. Foi determinada a profundidade de desaparecimento e aparecimento do disco, de manhã, logo no início dos trabalhos (9h00), geralmente com intervalos de dois-três dias.

#### c) Oxigênio dissolvido

O método utilizado foi o de Winkler, modificado segundo o Standard Methods (1976). As amostras foram coletadas com uma garrafa coletora, às 9h00 e 15h00, nas profundidades de 20 e 60 cm e fixadas no local em frascos âmbar de 250 ml aproximadamente. Em seguida, estes frascos eram transportados para o laboratório, onde era feita a titulação. Mensalmente, foram também realizadas medidas para verificar a variação em 24 horas para esta variável, o mesmo ocorrendo para o pH.

#### d) pH

As amostras foram coletadas com a mesma garrafa coletora, utilizada para as amostragens de oxigênio dissolvido (com a mesma frequência e nas mesmas profundidades). O pH foi determinado através do método eletrométrico, utilizando-se um pHmetro Microanal, modelo B 272.

#### e) DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

As amostras foram coletadas utilizando-se o mesmo procedimento para o oxigênio dissolvido, mas com intervalos de 15 dias.

O método empregado foi o da diluição, incubação e determinação por diferença da quantidade de oxigênio consumida, após decorridos cinco dias, na temperatura de 20°C, em incubadora termostaticamente controlada.

#### f) DQO (Demanda Química de Oxigênio)

A técnica utilizada consistiu em oxidar-se a matéria orgânica da amostra com dicromato de potássio em meio ácido (ácido sulfúrico) a quente, de acordo com o Standard Methods (1976).

#### g) Nitrogênio total

Foi determinado pelo método da digestão e destilação de Kjeldahl, através de um equipamento Labconco, segundo critério e recomendações do Standard Methods (1976).

O nitrogênio orgânico e o amoniacal só foram determinados para a caracterização do resíduo.

#### h) Fósforo total

O método escolhido foi o colorimétrico do ácido ascórbico, antecedido de digestão sulfonítrica. Também foi utilizado equipamento Labconco Kjeldahl para a digestão e, posteriormente, foi feita leitura em um espectrofotômetro Varian, modelo UV-634.

#### i) Sólidos suspensos voláteis

A técnica utilizada para esta análise foi baseada em medida volumétrica da amostra, seguida de secagem em estufa a 100°C, pesagem, calcinação e nova pesagem. O peso total do resíduo seco era considerado como representativo dos sólidos totais; o peso, após calcinação, como representativo dos sólidos fixos (indicam aproximadamente o teor de sólidos minerais) e, por diferença se obtinha o valor dos sólidos voláteis, considerados como sendo constituídos principalmente de matéria orgânica biodegradável.

#### j) Clorofila (pigmento total)

A concentração de clorofila nas amostras foi determinada segundo técnica espectrofotométrica, descrita por Golterman & Clymo (1971).

Volumes adequados das amostras foram filtrados em filtros Millipore AP 20 04700, a vácuo. As determinações foram fitas iniciando-se com extração do pigmento com acetona 90% (a frio), triturando-se o filtro em almofariz, sob baixa luminosidade. Em seguida, procedeu-se à centrifugação (3.000 RPM, 20 minutos), ajuste de volume do extrato para 10 ml, em balão volumétrico, e leitura da absorbância em espectrofotômetro Double-Beam Shimadzu, modelo UV-210A, nos comprimentos de onda 663 e 750 nm.

Os dados de clorofila neste trabalho são expressos como pigmento total, pois não foi feita a determinação de feofitina em separado.

#### k) Identificação e contagem de fitoplâncton

O material para este fim foi colhido na superfície da água, utilizando-se frascos de vidro. A identificação dos gêneros de algas presentes nas lagoas de estabilização foi feita com um microscópio binocular Zeiss e a contagem através de uma célula de Sedwick-Rafter, após diluições convenientes, utilizando-se o mesmo microscópio.

#### 3.3.2 Lodo (material sedimentado no fundo das lagoas)

A coleta do material do fundo foi realizada através de sifonagem, utilizando-se para isto uma mangueira transparente de plástico. Com este processo foi também possível estimar a quantidade de lodo depositado no fun-

do das lagoas, ajustando-se à mangueira uma régua com escala em milímetros.

Com o material coletado foram realizadas as seguintes análises:

- DQO
- nitrogênio total
- fósforo total
- sólidos totais
- sólidos fixos
- sólidos voláteis
- aspectos microscópicos.

## 4 Resultados

### 4.1 Caracterização de Resíduos

Os resultados correspondem ao material bruto, ou seja, compõem o afluente ao sistema.

As médias dos parâmetros analisados estão apresentadas na tabela 1 e são relativas à média dos resultados de três coletas realizadas no início dos trabalhos (maio-1983).

**Tabela 1 — Características médias do resíduo utilizado no experimento.**

Variáveis	Média
DQO (mg/l)	494,0
DBO (mg/l)	231,0
N total (mg/l)	36,4
N orgânico (mg/l)	18,9
N amoniacal (mg/l)	17,5
P total (mg/l)	21,1
Sólidos totais (mg/l)	537,0
Sólidos fixos (mg/l)	222,0
Sólidos voláteis (mg/l)	314,0
pH	7,4

### 4.2 Variáveis Hidrológicas — Avaliação da eficiência do Sistema (DBO, DQO, sólidos suspensos voláteis, nitrogênio e fósforo).

As médias mensais encontradas para as lagoas de estabilização encontram-se nas tabelas 2 e 3, juntamente com as eficiências de remoção. As figuras 2 e 3 mostram as variações ocorridas no tempo para as lagoas facultativas 1 e 2.

### 4.3 Variáveis Hidrológicas — Condições ambientais físico-químicas encontradas nas lagoas de estabilização (temperatura, pH, oxigênio dissolvido e transparência da água)

Os valores das variáveis analisadas encontram-se nas tabelas 5, 6 e 7 e as

Tabela 2 — Médias mensais das variáveis hidrológicas e eficiências de remoção da lagoa facultativa 1 (sem peixes). DQO, DBO, sólidos voláteis (S. V.), nitrogênio total (N) e fósforo total (P).

Meses	DQO (mg/ℓ)		DBO (mg/ℓ)		S.V. (mg/ℓ)		N (mg/ℓ)		P (mg/ℓ)		Reduções observadas (%)				
	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	DQO	DBO	S.V.	N	P
Julho (82)	377	80	110	11	-	-	22	4,5	9,5	1,4	79	90	-	79	85
Agosto	228	79	92	19	109	68	22	8	8,2	3,5	65	79	38	64	57
Setembro	182	107	85	12	149	78	18,5	7,7	8,0	5,0	41	86	48	58	37
Outubro	222	80	84	6	199	81	14,7	5	8,0	4,8	64	93	59	66	39
Novembro	402	95	111	9	347	155	24,5	7,5	9,7	8,4	76	92	55	69	13
Dezembro	458	119	206	12	377	151	30,5	6,4	19,9	9,0	74	94	60	79	55
Janeiro (83)	324	84	230	14	266	116	22,9	3,6	18,3	8,1	74	94	56	84	56
Fevereiro	297	80	130	8	201	76	23,6	5,2	19,9	8,7	73	94	62	78	56
Março	293	111	171	16	184	97	29,7	7,9	18,8	11,3	62	91	47	73	40
Abril	451	143	198	33	309	152	*	*	*	*	68	83	51	-	-
Mai	454	192	249	25	319	192	44,6	19,9	21,1	18,2	58	90	40	55	14
Junho	334	143	147	15	180	100	27,5	13,8	16,5	11,2	57	90	44	50	32
MÉDIA GERAL	334	109	151	15	240	119	25,5	8,1	14,6	8,1	67	90	50	68	44

A = Afluente

E = Efluente

\*aparelho com defeito

Tabela 3 — Médias mensais das variáveis hidrológicas e eficiências de remoção da lagoa facultativa 2 (com peixes). DQO, DBO, sólidos voláteis (S.V.), nitrogênio total (N) e fósforo total (P).

Meses	DQO (mg/ℓ)		DBO (mg/ℓ)		S.V. (mg/ℓ)		N (mg/ℓ)		P (mg/ℓ)		Reduções observadas (%)				
	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	DQO	DBO	S.V.	N	P
Julho (82)	377	139	110	23	-	-	22	7,6	9,5	2,5	63	79	-	65	74
Agosto	228	158	92	37	109	120	22	11,8	8,2	3,9	31	60	-	46	52
Setembro	182	211	85	36	149	237	18,5	15,1	8,0	6,0	00	58	-	18	25
Outubro	222	239	84	21	199	289	14,7	17,6	8,0	6,5	00	75	-	-	20
Novembro	402	270	111	24	347	291	24,5	16,5	9,7	9,5	33	78	16	33	1
Dezembro	458	220	206	26	377	285	30,5	12,0	19,9	9,9	52	87	24	61	50
Janeiro (83)	324	214	230	23	266	202	22,9	9,6	18,3	8,1	34	90	24	58	56
Fevereiro	297	230	130	20	201	230	23,6	17,8	19,9	8,2	22	85	-	25	59
Março	293	175	171	22	184	145	29,7	14,1	18,8	8,3	40	87	21	52	56
Abril	451	167	198	28	309	186	*	*	*	*	63	86	40	-	-
Mai	454	263	249	38	319	252	44,6	24,3	21,1	15,2	42	85	21	45	28
Junho	334	167	147	34	180	137	27,5	14,0	16,5	13,8	50	77	24	49	16
MÉDIA GERAL	334	204	151	28	240	215	25,5	14,6	14,6	8,4	39	81	10	47	42

A = afluente

E = efluente

\*aparelho com defeito

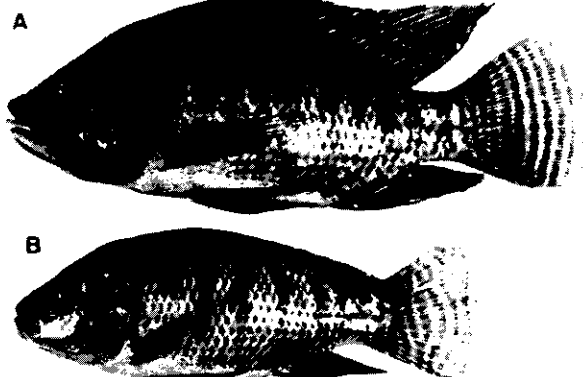


Figura 1  
Dimorfismo sexual em *Sarotherodon niloticus* em relação ao tamanho (atingido em 12 meses de trabalhos experimentais).  
A = macho;  
B = fêmea.

variações no decorrer do período abrangido pela pesquisa são melhor visualizadas pelas figuras 4, 5 e 6.

As tabelas 8 e 9 fornecem resultados que ilustram períodos de mau funcionamento da lagoa facultativa 1 e permitem comparações com os resultados da lagoa facultativa 2.

As médias mensais de temperaturas máximas e mínimas estão na tabela 10. As figuras 7 e 8 e tabela 11 mostram o padrão de variação do pH e oxigênio dissolvido, em um período de 24 horas, para as três lagoas.

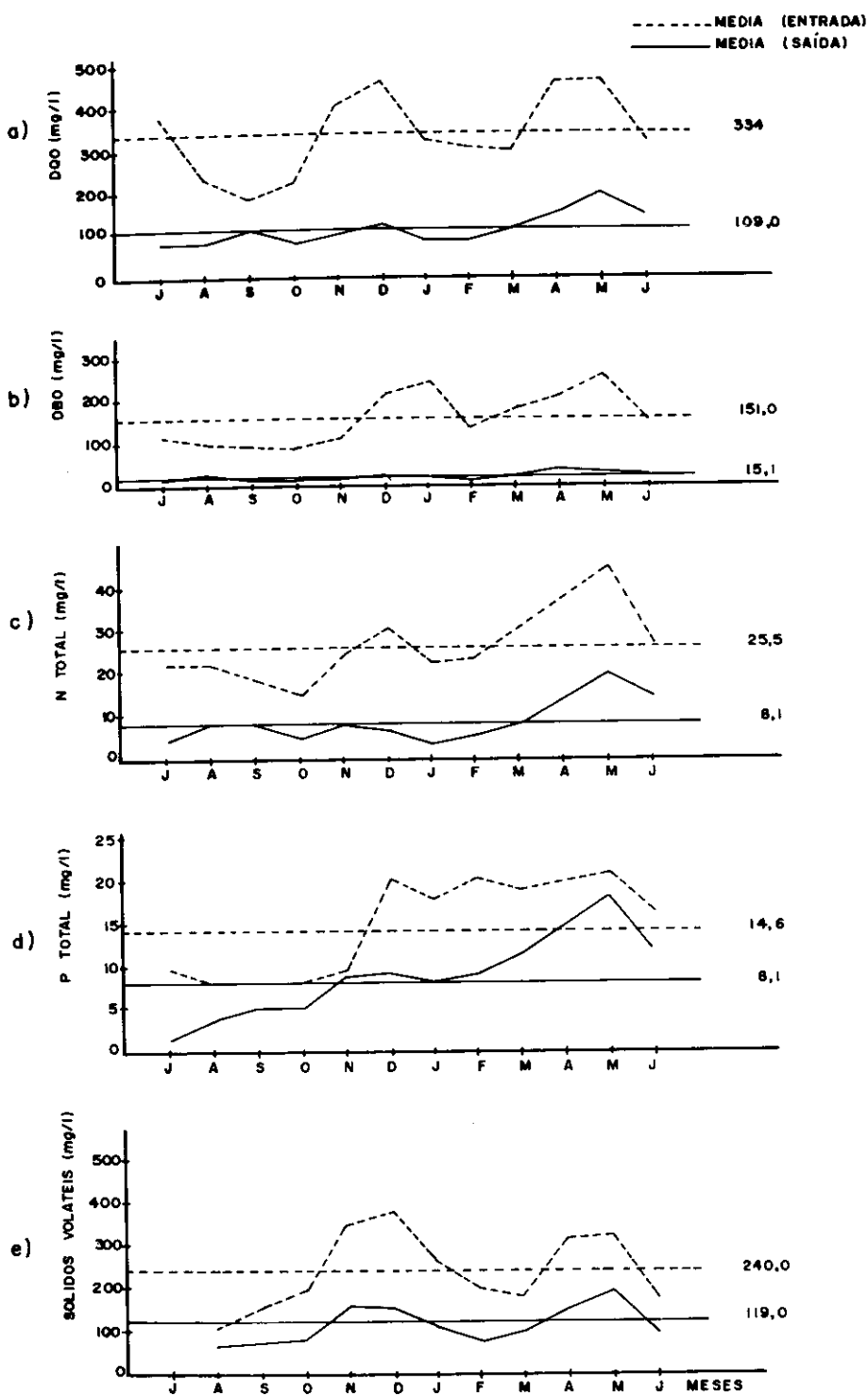


Figura 2 — Variação mensal da DQO, DBO, nitrogênio total, fósforo total e sólidos voláteis em suspensão na água residual bruta e efluente da lagoa facultativa 1

#### 4.4 Variáveis Biológicas Encontradas nas Lagoas de Estabilização (clorofila e fitoplâncton)

Os gêneros de algas encontrados com mais frequência nas lagoas de estabilização encontram-se na tabela 12 e as médias mensais da quantidade de fitoplâncton (número de organismos/ml) estão na tabela 13.

Os valores médios de clorofila (pigmento total) estão registrados nas ta-

belas 5, 6 e 7, sendo que as figuras 4, 5 e 6 mostram melhor as variações ocorridas no tempo.

#### 4.5 Características do Sedimento

As observações qualitativas e quantitativas do sedimento das lagoas de estabilização encontram-se nas tabelas 14 e 15.

## 5 Discussão

### 5.1 Comportamento das Variáveis Hidrológicas

#### Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O comportamento da DQO seguiu uma certa proporcionalidade com o DBO, quando se tratou de resíduo bruto. Em relação às lagoas ocorreram grandes diferenças. Isto se verifica normalmente em lagoas de estabilização devido ao excessivo desenvolvimento de algas nestes sistemas, proporcionando um equivalente acréscimo de sólidos orgânicos em suspensão, os quais são suscetíveis à oxidação química aumentando, dessa forma, consideravelmente os valores da DQO. Portanto, a remoção da DQO naturalmente nestas lagoas apresenta valores baixos. Nota-se, através dos resultados, que na lagoa facultativa 2 (com peixes) a DQO de saída sempre foi mais alta, possivelmente devido à maior quantidade de algas presentes (verifique a concentração de clorofila nas tabelas 5 e 6 e figuras 4 e 5).

#### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Como foi anteriormente comentado, as variações da DBO do resíduo bruto de entrada (afluente) já eram, de certa forma, esperadas e as remoções reveladas pelas análises chegaram a ser muito boas. Não houve diferenças acentuadas nos valores de DBO entre as lagoas com e sem peixes. Entretanto, como será discutido mais adiante, a DBO real dos efluentes provavelmente foi mascarada pela interferência dos organismos do fitoplâncton.

#### Sólidos Suspensos Voláteis

As variações de sólidos voláteis em suspensão acompanharam estreitamente as variações de DQO e concentração de clorofila. Este fato indica claramente que a maior parte dos sólidos em suspensão é de natureza autóctone, composta principalmente de células de algas. Já em 1958, Oswald et alii (citado em Meron et alii, 1965) tinham registrado que, nos sólidos em suspensão, quando o tempo de detenção era maior que quatro dias, as células de algas representavam praticamente a totalidade dos sólidos voláteis. Exames microscópicos posteriores confirmaram esta afirmação na presente pesquisa. Portanto, neste estudo, foi assumido que os sólidos em suspensão

**Tabela 4 — Médias mensais das variáveis hidrológicas da lagoa de maturação e eficiências de remoção (%) do sistema de lagoas com peixes em série: facultativa 2 e maturação (em conjunto). DQO, DBO, sólidos voláteis (S. V.), nitrogênio total (N) e fósforo total (P)**

Meses	DQO (mg/ℓ)		DBO (mg/ℓ)		S. V. (mg/ℓ)		N (mg/ℓ)		P (mg/ℓ)		Reduções observadas (%)				
	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	DQO	DBO	S. V.	N	P
	Julho (82)	377	101	110	13	-	-	22	4,4	9,5	0,7	73	88	-	80
Agosto	228	91	92	14	109	65	22	3,8	8,2	2,1	60	85	40	83	74
Setembro	182	104	85	14	149	148	18,5	4,3	8,0	2,2	43	84	0,7	77	72
Outubro	222	129	84	25	199	138	14,7	5,9	8,0	3,1	42	70	30	60	61
Novembro	402	199	111	23	347	283	24,5	6,8	9,7	5,1	50	79	18	72	47
Dezembro	458	227	206	28	377	274	30,5	8,5	19,9	6,7	50	86	27	72	66
Janeiro (83)	324	221	230	23	266	194	22,9	10,2	18,3	5,7	32	90	27	55	69
Fevereiro	297	238	130	17	201	274	23,6	12,6	19,9	6,8	20	87	-	46	66
Março	293	196	171	25	184	176	29,7	11	18,8	7,5	33	85	4	63	60
Abril	451	127	198	16	309	152	*	*	*	*	72	92	51	-	-
Maio	454	152	249	17	319	174	44,6	11,7	21,1	11,2	66	93	45	74	47
Junho	334	119	147	14	180	100	27,5	11,3	16,5	12,1	64	90	44	59	27
MÉDIA GERAL	334	159	151	19	240	180	25,5	8,2	14,6	5,7	52	87	25	68	61

A = Afluente (entrada da F<sub>2</sub>)

E = Efluente (saída da maturação)

\*aparelho com defeito

**Tabela 5 — Valores médios mensais das variáveis ambientais da lagoa facultativa 1: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH da água, transparência da água (disco de Secchi) e clorofila**

Meses	T. água (°C)				Oxigênio dissolvido m/ℓ				pH				Disco de Secchi (cm)	Clorofila (µg/ℓ)
	Manhã		Tarde		Manhã		Tarde		Manhã		Tarde			
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		
Junho (82)	18,9	18,7	21,9	20,1	5,5	4,9	10,4	6,6	8,4	8,3	9,0	9,1	56	-
Julho	18,3	18,2	21,8	20,4	2,4	2,3	5,6	3,3	7,4	7,4	7,7	7,4	66	-
Agosto	19,3	18,9	23,5	20,4	8,6	6,6	13,0	8,4	8,9	8,6	9,4	9,0	47	-
Setembro	20,0	19,8	24,7	21,0	6,9	5,0	12,7	6,3	9,3	8,8	9,8	9,1	30	-
Outubro	21,8	21,3	25,9	22,1	10,3	8,8	15,0	10,9	9,1	8,9	9,5	9,4	39	126,0
Novembro	24,8	24,3	29,9	25,5	9,9	4,4	14,1	5,2	9,4	8,9	9,6	8,9	26	323,0
Dezembro	24,0	23,3	27,1	24,1	8,7	4,5	15,1	5,1	9,6	9,1	9,8	9,2	24	596,0
Janeiro (83)	24,3	24,0	30,0	25,6	7,2	4,5	14,6	9,3	9,4	9,1	9,6	9,4	35	422,0
Fevereiro	22,9	22,5	27,3	23,8	7,3	3,3	14,0	4,8	9,3	8,6	9,7	9,1	28	621,0
Março	22,1	21,8	26,8	23,1	5,8	2,7	11,6	4,7	8,8	8,0	9,4	8,4	25	894,0
Abril	22,5	22,2	25,6	23,5	2,1	0,6	4,1	0,6	8,0	7,7	8,3	7,7	18	598,0
Maio	21,4	21,1	24,0	22,0	1,0	0,5	2,9	1,3	7,4	7,4	8,6	7,5	15	1914,0
Junho	18,6	18,5	21,5	19,0	4,0	2,4	14,5	3,2	7,9	7,7	9,3	8,0	20	1035,0
MÉDIA GERAL	21,6	21,3	25,7	22,6	6,3	4,0	11,1	5,5	8,7	8,4	9,2	8,7	33	725,4

S = Superfície (20cm de profundidade)

F = Fundo (60cm de profundidade)

das lagoas representam material vivo do fitoplâncton, já que o tempo de detenção utilizado foi bem superior a quatro dias (28 dias nas lagoas facultativas e acima de 70 dias na lagoa de maturação).

Em várias ocasiões foram registradas no efluente da lagoa facultativa 2 e de maturação concentrações de sólidos voláteis superiores às encontradas no resíduo bruto de entrada (afluente). Estes resultados são coerentes, pois, justamente nestas lagoas, os valores da concentração de DQO e clorofila também foram os mais altos obtidos, sugerindo a existência de estrita correlação entre estas variáveis.

Na lagoa facultativa 1, a concentração de sólidos voláteis não foi tão

elevada. Através dos resultados, ficou constatado que nesta lagoa houve menor produção de algas e provavelmente maior taxa de sedimentação dos organismos fitoplanctônicos, o que refletiu nos menores valores de sólidos voláteis.

#### Nitrogênio Total

Os resultados indicam que houve sempre maior quantidade de nitrogênio na lagoa facultativa 2, que continha peixes, possivelmente devido à liberação de produtos de excreção nitrogenados por esses organismos. Outra explicação é a incorporação do nitrogênio (na forma orgânica) em células do fitoplâncton que existiam em maior quantidade nesta lagoa.

As análises também revelaram que a quantidade de nitrogênio no sistema foi suficiente para o desenvolvimento do fitoplâncton.

#### Fósforo Total

A maior parte da redução do fósforo foi provavelmente devida à precipitação na forma de sais insolúveis, como fosfato de cálcio, causada pelo aumento excessivo do pH em certos períodos do dia (Pipes, 1961).

Outra forma de diminuição do teor de fósforo na coluna d'água é a incorporação em células de algas, muitas das quais são depositadas no sedimento.

De acordo com os resultados, não houve diferenças significativas em re-

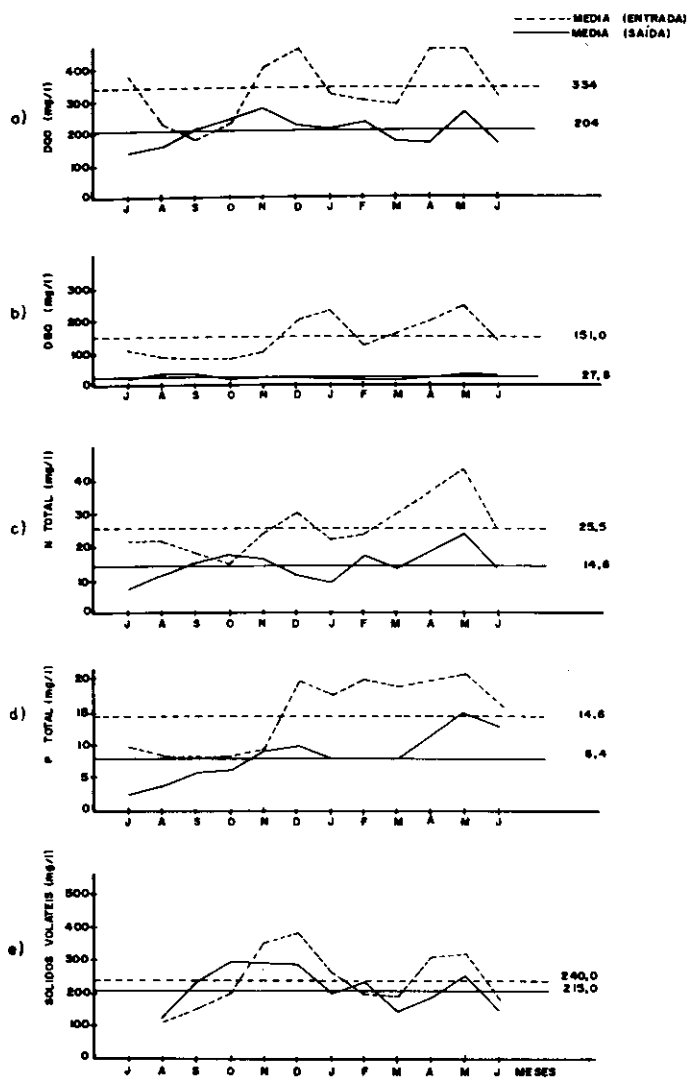


Figura 3 — Variação mensal da DBO, DBO, nitrogênio total, fósforo total e sólidos voláteis em suspensão na água residual bruta e efluente da lagoa facultativa 2 (com peixes)

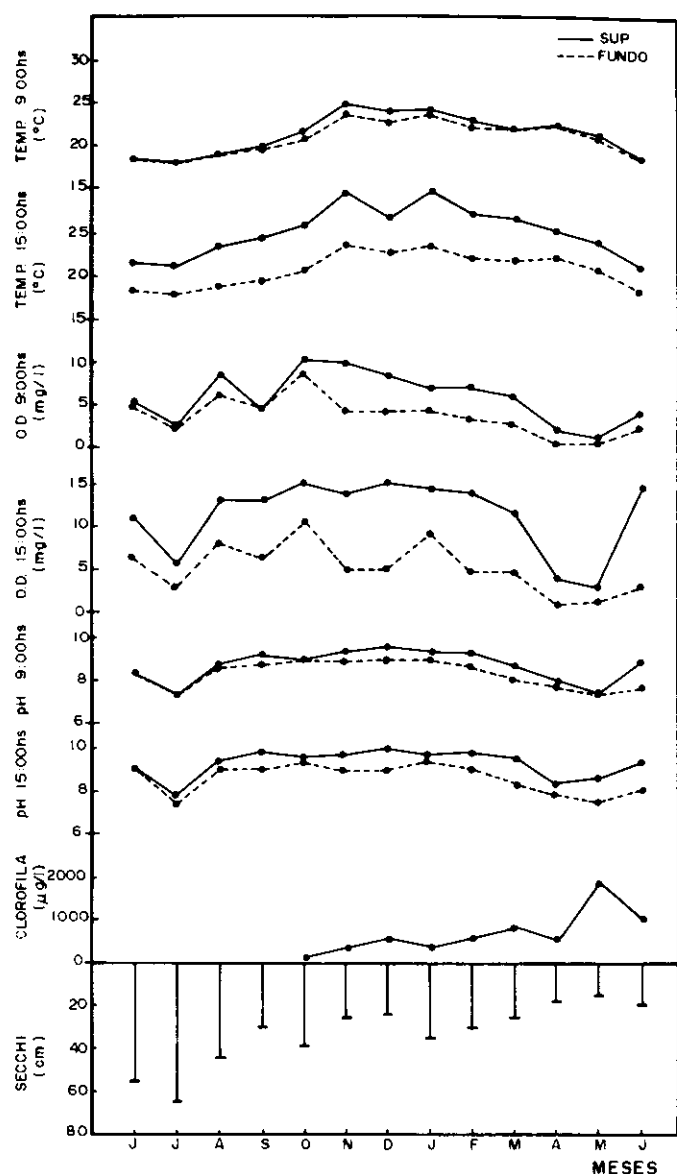


Figura 4 — Variação mensal dos fatores ambientais na lagoa facultativa 1: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, clorofila e transparência da água (disco de Secchi)

Tabela 6 — Valores médios mensais das variáveis ambientais da lagoa facultativa 2: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH da água, transparência da água (disco de Secchi) e clorofila

Meses	T. água (°C)				Oxigênio dissolvido m/l				pH				Disco de Secchi (cm)	Clorofila (µg/l)
	Manhã		Tarde		Manhã		Tarde		Manhã		Tarde			
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		
Junho (82)	18,7	18,8	22,1	20,4	5,2	4,6	11,6	6,6	8,9	8,6	9,7	9,2	47	-
Julho	18,8	18,4	22,6	19,9	3,9	2,6	14,7	3,6	9,5	9,3	10,2	9,5	27	-
Agosto	18,1	17,8	24,0	20,5	3,6	2,2	15,6	2,7	8,6	8,3	8,9	8,2	17	-
Setembro	20,1	19,8	25,2	21,0	3,8	1,4	13,3	1,8	9,6	9,4	10,1	9,3	18	-
Outubro	22,0	21,3	26,9	22,1	6,3	1,5	15,5	1,6	9,5	9,3	9,8	9,1	14	3.575
Novembro	25,7	25,0	30,4	26,8	5,9	1,6	13,7	1,9	9,6	9,3	9,6	9,3	12	4.058
Dezembro	24,8	24,2	28,3	25,4	5,7	1,6	13,8	2,8	9,6	9,3	9,8	9,3	15	2.959
Janeiro (83)	24,8	24,3	30,5	26,0	6,2	1,9	12,8	1,5	9,6	9,3	9,7	9,4	15	2.936
Fevereiro	23,3	22,8	27,5	24,5	4,6	1,3	10,1	1,5	9,6	9,3	9,7	9,3	11	3.796
Março	23,1	22,4	28,3	24,6	4,7	1,7	12,5	4,4	8,3	7,8	9,2	8,0	20	2.113
Abril	23,8	23,4	27,0	25,0	4,5	1,7	9,1	2,2	8,8	8,5	9,4	8,3	15	2.250
Mai	22,2	21,9	25,1	24,0	2,1	0,9	8,9	1,7	8,4	8,3	9,4	8,7	15	4.042
Junho	19,2	19,1	21,5	20,3	2,3	1,2	12,5	3,2	7,3	7,2	8,8	7,8	18	1.583
<b>MÉDIA GERAL</b>	<b>22,09</b>	<b>21,6</b>	<b>26,5</b>	<b>23,3</b>	<b>4,7</b>	<b>1,9</b>	<b>12,6</b>	<b>2,7</b>	<b>9,1</b>	<b>8,9</b>	<b>9,6</b>	<b>8,9</b>	<b>18,7</b>	<b>3.034,6</b>

S = Superfície (20cm de profundidade)

F = Fundo (60cm de profundidade)

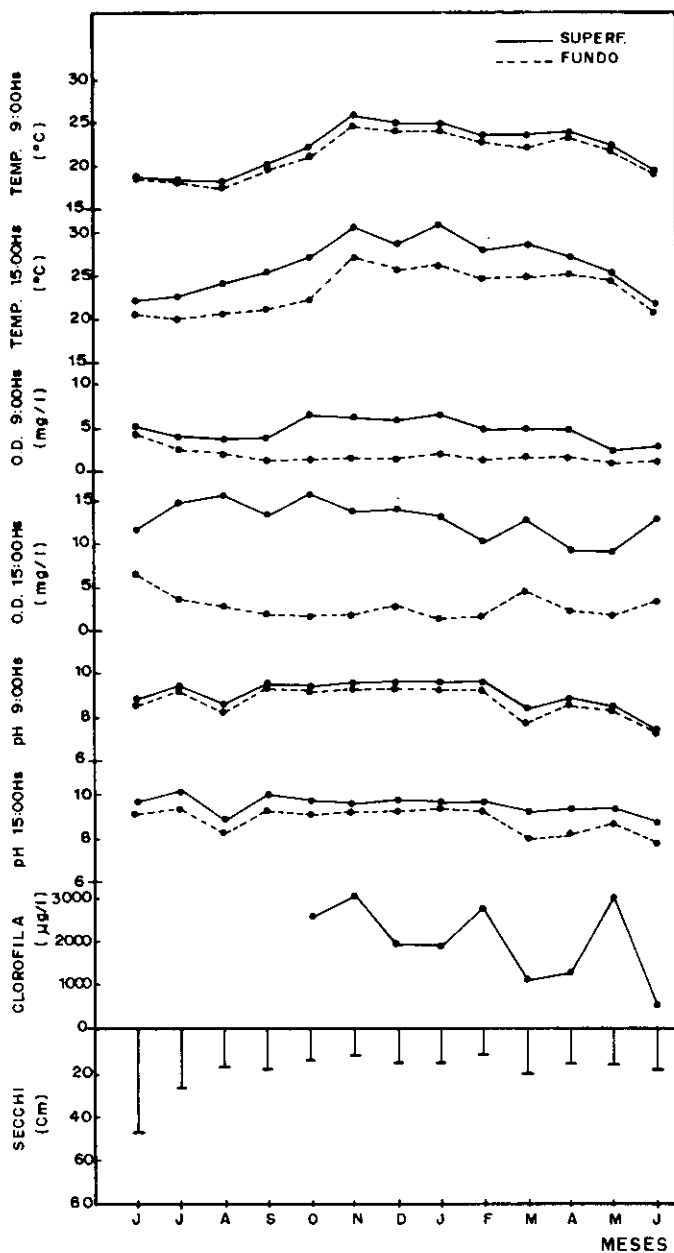


Figura 5 — Variação mensal dos fatores ambientais na lagoa facultativa 2: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, clorofila e transparência da água (disco de Secchi)

lação à quantidade de fósforo nos efluentes das duas lagoas facultativas, evidenciando-se também que este elemento não foi limitante ao desenvolvimento das algas.

### Temperatura

A temperatura é um fator importantíssimo para o bom desempenho de uma lagoa de estabilização, exercendo uma influência direta sobre a velocidade da fotossíntese, aumentando-a ou diminuindo-a de acordo com suas variações. Com a diminuição da temperatura ocorre também uma redução de taxas de degradação bioquímica da matéria orgânica (devido a um retardamento do metabolismo microbiano), resultando em menores quantidades disponíveis de produtos de decomposição, como nutrientes para as algas por exemplo. Além disso ela exerce um papel fundamental no metabolismo e comportamento biológico dos peixes influenciando a atividade reprodutiva e a taxa de crescimento. Os dados de temperatura obtidos mostram que, em todas as lagoas de estabilização, ocorreram variações semelhantes.

O mesmo ocorreu com as médias mensais de temperaturas máximas e mínimas. Estes resultados indicam que não houve mudanças muito acentuadas, as quais poderiam prejudicar o funcionamento do sistema.

### pH

Estudos anteriores têm mostrado uma nítida variação do pH em lagoas de estabilização (Pipes, 1961, 1962). Isto foi confirmado no atual experimento. O padrão de variação do pH indicou baixos valores no período da manhã (9h00) e altos valores à tarde (15h00)

Tabela 7 — Valores médios mensais das variáveis ambientais da lagoa de maturação: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH da água, transparência da água (disco de Secchi) e clorofila

Meses	T. água (°C)				Oxigênio dissolvido m/l				pH				Disco de Secchi (cm)	Clorofila (µg/l)
	Manhã		Tarde		Manhã		Tarde		Manhã		Tarde			
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F		
Junho (82)	19,3	19,4	21,8	21,2	10,5	10,4	11,8	12,1	9,9	9,9	10,0	9,7	+80	-
Julho	19,1	19,1	22,7	20,9	14,4	14,1	17,3	16,9	10,3	10,3	10,5	10,5	62	-
Agosto	20,1	19,8	24,2	21,4	14,2	14,2	16,1	16,4	10,2	10,2	10,2	10,2	52	-
Setembro	20,5	20,1	25,2	21,5	11,5	10,6	14,5	14,3	10,4	10,3	10,4	10,5	46	-
Outubro	22,5	21,7	27,3	22,6	9,0	7,7	14,9	10,6	9,8	9,7	10,0	9,9	40	369,0
Novembro	25,3	24,4	30,4	25,7	7,5	2,5	14,8	3,0	9,6	9,1	10,0	9,2	19	1.237,0
Dezembro	24,6	23,6	27,3	24,4	6,7	1,4	14,0	2,6	9,6	9,2	10,0	9,3	17	1.849,0
Janeiro (83)	24,6	24,0	30,8	25,2	5,9	1,9	11,1	1,9	9,6	9,3	10,0	9,2	15	1.718,0
Fevereiro	23,3	22,5	26,6	23,7	5,1	1,5	10,2	1,8	9,6	9,1	9,9	9,0	12	2.770,0
Março	22,9	21,8	28,3	23,5	5,4	1,4	13,6	1,6	8,8	8,1	9,8	7,9	16	2.169,0
Abril	23,6	22,9	28,0	24,6	7,0	2,8	16,1	2,8	9,5	9,0	10,0	9,0	19	965,0
Mai	22,0	21,7	25,5	23,0	5,2	2,3	16,2	3,0	8,9	8,7	10,1	8,9	18	1.411,0
Junho	19,1	18,9	22,2	19,2	5,6	3,9	17,9	5,5	8,8	8,7	10,1	8,8	22	1.046,0
MÉDIA GERAL	22,0	21,50	26,17	22,8	8,3	5,74	14,5	7,11	9,6	9,35	10,07	9,39	32,15	1.504,0

S = Superfície (20cm de profundidade)

F = Fundo (60cm de profundidade)



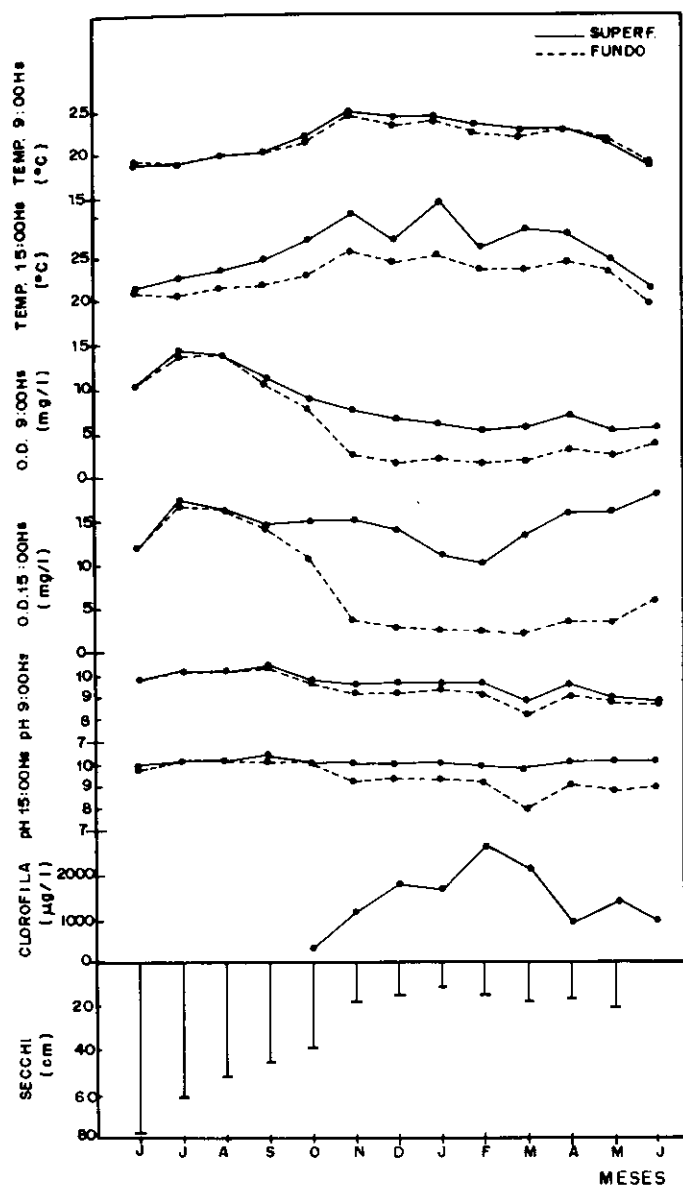


Figura 6 — Variação mensal dos fatores ambientais na lagoa de maturação: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, clorofila e transparência da água (disco de Secchi)

sendo que os valores na superfície (20 cm de profundidade) sempre foram superiores aos encontrados no fundo (60 cm de profundidade). Os valores mais elevados foram registrados na superfície da lagoa de maturação, à tarde, e os mais baixos no fundo da lagoa facultativa 1 (sem peixes), de manhã. Nos períodos de ocorrência de distúrbios da lagoa facultativa 1, os resultados de pH apresentaram os menores valores.

A principal causa dessas variações está no consumo de gás carbônico realizado pelas algas, no processo da fotossíntese. Assim sendo, o  $\text{CO}_2$ , que é o principal responsável pela acidez das águas da lagoa, pode diminuir muito durante as horas mais claras do dia, quando a atividade fotossintética supera a respiração das bactérias e das próprias algas e é restabelecido à noite, quando cessa a fotossíntese, passando a preponderar a oxidação da matéria orgânica.

Os menores valores de pH, no fundo das lagoas, são devidos, provavelmente, à maior acidez neste local, decorrente da liberação de  $\text{CO}_2$  pela atividade respiratória dos microorganismos e conseqüente produção de ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ao reagir com a água. Esta ocorrência é facilitada pela ausência de atividade fotossintética no fundo, pois a luz é absorvida pelas camadas superiores.

#### Oxigênio Dissolvido (O.D.)

O oxigênio dissolvido é um fator muito importante para o funcionamento de lagoas de estabilização facultativas e aeróbias. Este gás é indispensável para os microorganismos responsáveis pelos processos aeróbios de degradação dos resíduos orgânicos. A variação do oxigênio dissolvido nas lagoas, como já era esperado, também seguiu um padrão bem definido, aumentando durante as horas de maior

insolação e diminuindo com a redução da taxa fotossintética ao entardecer, chegando até zero a partir de certas horas noturnas, dependendo da lagoa considerada.

No fundo das lagoas sempre foram registrados os menores valores, de maneira semelhante ao comportamento do pH (ausência de fotossíntese e elevada taxa respiratória). Nos períodos de mau funcionamento da lagoa facultativa 1, o O. D. atingiu níveis críticos, chegando a zero mesmo na superfície e durante as horas de maior insolação (15h00).

#### Transparência da Água

Os dados de transparência da água obtidos com o disco de Secchi mostraram grande concordância com os dados de clorofila e concentração de sólidos voláteis em suspensão, evidenciando mais uma vez a existência de significativa correlação entre estas variáveis e provando que a turbidez da água foi devida quase que exclusivamente ao fitoplâncton. Pelos resultados, a lagoa facultativa 2 (com peixes) apresentou a menor transparência (maior turbidez) com uma visibilidade média anual de 18,7 cm.

#### Clorofila

Houve nítida diferença na concentração de clorofila entre as três lagoas de estabilização. A lagoa facultativa 2 (com peixes) apresentou os valores mais elevados da concentração desse pigmento. Conforme já discutido, parece haver clara correlação entre concentração de clorofila, sólidos voláteis e profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (transparência da água).

#### Fitoplâncton

Os gêneros de algas encontradas são os mesmos registrados com frequência em lagoas de estabilização, com ocorrência maciça de algas clorofíceas planctônicas de um modo geral. Na lagoa facultativa 1 houve predominância de organismos cloroflagelados como *Euglena*, *Chlamydomonas*, etc... Conforme informações existentes na literatura, a presença em grande número de cloroflagelados está relacionada com sintomas de mau funcionamento das lagoas de estabilização (Fitzgerald & Rohlich, 1958).

As quantidades encontradas (organismos/ml) também são similares às verificadas em lagoas de estabilização dimensionadas e operadas em escala real.

Tabela 8 — Variações do oxigênio dissolvido (mg/l), pH e transparência da água (disco de Secchi) ocorridas nas lagoas facultativa 1 (sem peixes) e facultativa 2 (com peixes) no período de 07/07/82 a 26/07/82

Data	LAGOA FACULTATIVA 1 (sem peixes)							LAGOA FACULTATIVA 2 (com peixes)										
	Período da Manhã				Período da Tarde			Período da Manhã				Período da Tarde						
	O.D.		pH		Disco de Secchi (cm)	O.D.		pH		O.D.		pH		Disco de Secchi (cm)	O.D.		pH	
	S	F	S	F		S	F	S	F	S	F	S	F		S	F	S	F
07/07/82	1,6	1,0	6,8	6,9	75	1,8	1,4	6,9	6,9	5,2	2,4	9,4	9,3	25	13,8	4,2	9,9	9,8
09/07/82	0,8	0,8	7,0	7,0	65	1,8	1,2	6,9	6,9	2,4	1,8	9,5	9,5	25	14,2	2,4	9,8	9,6
12/07/82	0,7	0,6	6,9	6,9	80	1,6	1,4	6,8	6,8	3,3	3,3	9,9	10,1	25	14,4	2,2	10,0	9,5
15/07/82	0,8	0,8	7,2	7,0	75	2,4	1,8	7,1	7,1	3,0	3,4	9,4	9,3	25	16,0	6,2	10,2	9,7
16/07/82	1,0	1,0	7,0	6,9	80	2,0	1,8	7,2	7,1	4,6	4,2	9,8	9,7	25	16,0	6,0	10,3	9,6
19/07/82	1,0	1,2	7,1	7,1	80	2,6	1,6	7,2	7,1	6,2	5,2	9,7	9,4	25	12,2	1,6	10,3	9,4
21/07/82	1,0	1,0	6,8	6,8	70	2,4	1,6	7,2	7,1	4,2	1,2	9,4	9,0	25	12,8	2,4	10,3	9,4
23/07/82	0,2	0,4	6,6	6,6	55	2,2	1,0	7,1	7,1	1,8	1,0	9,2	9,2	25	16,2	2,0	10,1	9,4
26/07/82	3,2	2,8	6,7	6,7	45	10,8	5,0	8,9	7,7	5,4	2,8	9,2	9,1	25	13,4	4,0	10,3	9,3
MÉDIA DO PERÍODO	1,1	1,0	6,9	6,8	69	3,0	1,8	7,2	7,1	4,0	2,8	9,5	9,4	25	14,3	3,4	10,1	9,5

S = Superfície (20cm de profundidade)  
F = Fundo (60cm de profundidade)

manhã (9h00)  
tarde (15h00)

## 5.2 Interações entre Peixes e o Funcionamento das Lagoas de Estabilização

De acordo com os resultados experimentais, a lagoa facultativa contendo peixes (F<sub>2</sub>) esteve sempre em bom funcionamento, mantendo suas condições mais estáveis e não havendo, portanto, oscilações bruscas das variáveis ambientais.

A eficiência de remoção de DBO nesta lagoa (80% em média) e outros parâmetros foi comparável à de lagoas de estabilização consideradas normais, provando que os peixes não prejudicaram o tratamento.

A ausência da ação do vento foi compensada pelo efeito misturador que o peixe provavelmente causou na água, possivelmente através dos movimentos natatórios e agitação no sedimento, promovendo a circulação da água e impedindo a sedimentação de células de algas no fundo. A análise do lodo revelou que, nesta lagoa, o material depositado não continha muitas algas e estava mais diferido (estabilizado) que o lodo da lagoa facultativa 1 (sem peixes), ou seja, os peixes provavelmente utilizaram também o lodo orgânico como alimento. Na lagoa facultativa 1 sem peixes (F<sub>1</sub>), mesmo recebendo uma concentração de DBO relativamente baixa (180 mg/l em média como na F<sub>2</sub>), houve ocorrência de sinais de excesso de carga, como anaerobiose total em toda a coluna d'água, em certas ocasiões, inclusive em plena luz do dia, às 15h00 (tabela 9). Este fato serviu para mostrar, com clareza, as características deficientes dos modelos de lagoas de estabilização utilizados e ressaltou ao mesmo tempo o importante papel do peixe como atenuador das oscilações ambientais e condicionador do sistema.

nuador das oscilações ambientais e condicionador do sistema.

Embora as eficiências da lagoa facultativa sem peixes fossem, aparentemente, pelos resultados obtidos, ligeiramente superiores à F<sub>2</sub> (com peixes), vários distúrbios comprometeram seriamente o seu funcionamento no período abrangido pela pesquisa. Em várias ocasiões, quando a temperatura era alta, havia subida de lodo bentônico na forma de flocos em grande quantidade, dificultando a penetração da luz e causando uma DBO adicional à massa de água. Nestes períodos a concentração de oxigênio dissolvido chegou a ser nula (na superfície inclusive), mesmo com a alta insolação das 15h00.

Expressiva parcela deste material flutuante saía juntamente com o efluente. Este aspecto é muito prejudicial a uma lagoa de estabilização em escaia e operação reais, pois este material proveniente do sedimento contém muitos compostos orgânicos não totalmente digeridos, constituindo-se em uma significativa carga poluidora em potencial. Portanto, deve-se evitar o seu lançamento em um corpo d'água receptor.

Outro fenômeno digno de menção na lagoa F<sub>1</sub> foi o surgimento, por inúmeras vezes, de extraordinária quantidade de microcrustáceos, principalmente cladóceros (*Daphnia* sp). Estes organismos funcionaram como agentes de desequilíbrio pois, em poucos dias, atingiam números incrivelmente elevados, chegando a emprestar uma cor marrom-avermelhada à água. Nestas ocasiões, a transparência da água aumentava consideravelmente pois estes crustáceos se alimentavam da maior parte do fitoplâncton e, como se sabe, a alta concentração de algas é, comu-

mente, o principal fator responsável pela turbidez em águas entrofizadas.

O problema levava a outros inconvenientes, pois com a diminuição dos organismos produtores havia queda considerável da fotossíntese e aumento óbvio do consumo de oxigênio dissolvido. O sistema entrava em desequilíbrio e desta forma a carga orgânica introduzida diariamente tornava-se excessiva, suplantando a capacidade de assimilação momentânea da lagoa, causando assim o colapso total do ecossistema. A tabela 8 indica um período de ocorrência desse desequilíbrio, comparadamente à lagoa com peixes, a qual se manteve em condições mais desejáveis. Observe, nesta tabela, que os baixos valores de O. D. correspondem a altos valores de transparência da água, evidenciando o consumo excessivo do fitoplâncton pelos microcrustáceos.

Edwards et alii (1981b) registrou desequilíbrio semelhante em uma lagoa de estabilização na qual houve excessiva proliferação de zooplâncton, principalmente cladóceros (*Bosmina* sp) e rotíferos. A redução do fitoplâncton foi tão intensa a ponto de permitir que a luz chegasse até o fundo da lagoa.

Outra evidência do mau funcionamento da lagoa facultativa 1 foi a presença constante de grande quantidade de microorganismos cloroflagelados, principalmente *chlamydomonas*. Há muito tempo sabe-se que estes seres são indicadores de distúrbios de funcionamento de lagoas de estabilização e, geralmente, surgem após períodos de anaerobiose (Fitzgerald & Rohlich, 1958).

Todos estes distúrbios jamais ocorreram na lagoa F<sub>2</sub>. Provalmente os peixes controlavam a população de crustáceos, evitando dessa forma o seu

excessivo crescimento populacional, mantendo assim o balanço entre produção e consumo do fitoplâncton. Além disso, através de seu efeito homogeneizador já citado, impediam a sedimentação de algas e formação da espessa camada de lodo não digerido, evitando, dessa forma, a fermentação responsável pela elevação do material bentônico para a superfície.

Lowe-McConnel (1982), acompanhando os hábitos alimentares de diversas espécies de tilápias, encontrou que *Sarotherodon niloticus* possuía as dietas mais flexíveis, alimentando-se de algas epifitas, planctônicas e detritos do sedimento, dependendo do habitat. Acreditamos, por isso, que em lagoas de estabilização o consumo de detritos (encontrados em grande quantidade) pelas tilápias melhora o regime de oxigênio dissolvido, para o benefício do ambiente como um todo e, conseqüentemente, para ela própria.

Este efeito condicionador do peixe já foi claramente demonstrado em estudos anteriores em que lagoas de estabilização, recebendo altas cargas de resíduos orgânicos, não têm apresentado esses ciclos extremos quando estocados com peixes (Schroeder, 1975).

Como ficou demonstrado pelos resultados das análises, não houve influência significativa dos peixes sobre a eficiência de remoção DBO, DQO, sólidos etc., mas a simples observação dos números pode acarretar interpretações falsas. Deve-se ressaltar que as análises de DBO e DQO, por exemplo, foram realizadas sem filtração da amostra. Possivelmente a grande massa de algas existente na lagoa F<sub>2</sub> (bem superior à F<sub>1</sub>) exerceu grande influência nas medidas, pois sabe-se que estes organismos também promovem DBO, mas uma DBO aparente, fato este que pode explicar os valores mais altos encontrados na F<sub>2</sub>, mascarando desta forma os resultados das eficiências reais.

Deve-se ressaltar, também, que as médias mensais encontradas para a lagoa F<sub>1</sub> não correspondem ao que aconteceu de fato, principalmente nos meses de ocorrência dos distúrbios citados anteriormente. Por exemplo, nas ocasiões da suspensão do material orgânico do sedimento, a DBO foi bem mais elevada e estes períodos duravam semanas. As coletas para análises eram feitas quinzenalmente e, portanto, as médias mensais eram baseadas em dois ou três resultados, no máximo. Se as médias da DBO fossem calculadas através de dados coletados diariamente ou mesmo semanais (impraticável na atual pesquisa, considerando-se a quantidade de parâmetros avaliados), as eficiências de remoção seriam pro-

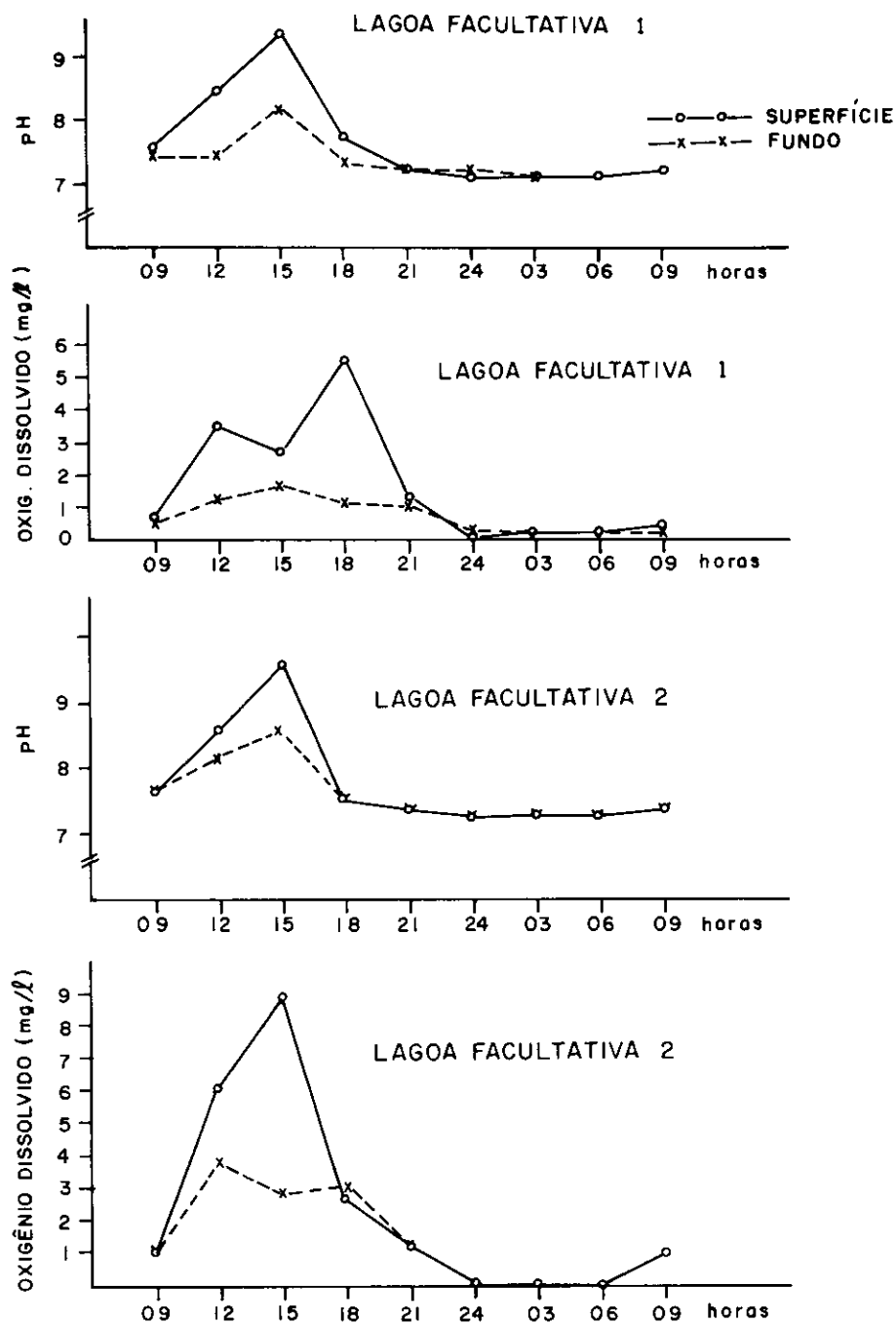


Figura 7 — Variação do pH e oxigênio dissolvido, em um período de 24 horas, nas lagoas facultativas 1 e 2

avelmente menores na F<sub>1</sub>, já que entraria no cálculo das médias maior número de resultados em que o sistema estava em desequilíbrio.

Outra intrigante questão foi a constatação de que sempre houve maior concentração de clorofila na lagoa F<sub>2</sub>, sugerindo um aumento da produção primária. Algumas hipóteses foram aventadas. Uma delas é a de que na lagoa F<sub>1</sub>, por haver falta de circulação da água (o que normalmente ocorria na F<sub>2</sub> promovida pelos peixes), as algas sofriam uma sedimentação acumulando-se no fundo. Isto foi confirmado posteriormente pelas análises microscópicas do lodo (tabela 14) e pela con-

centração de clorofila, cujos valores aumentavam nos períodos de subida do material bentônico, sugerindo que as algas que estavam depositadas subiam com o desprendimento dos flocos, pela ação dos gases liberados na fermentação anaeróbia.

Experiências efetuadas por Edwards et alii (1981a) revelaram que a concentração de clorofila em tanques com tilápias (*S. niloticus*), antes e após uma homogeneização através de uma agitação mecânica, foram similares, sugerindo que, se o fitoplâncton foi depositado no fundo, ele foi rapidamente degradado e mineralizado. Portanto, em nosso caso especial, a

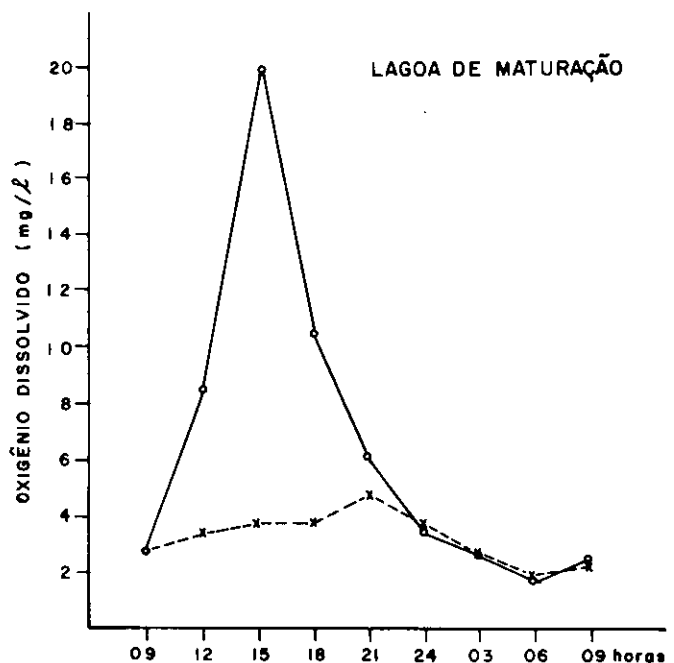
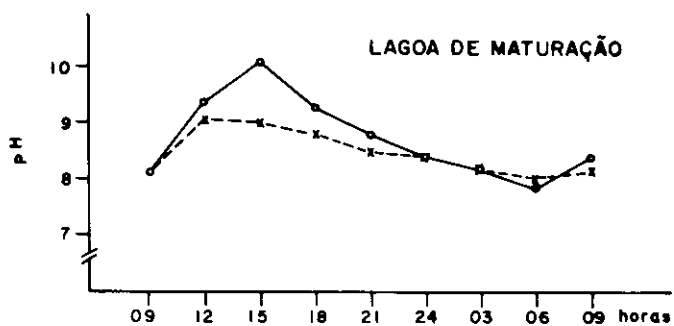


Figura 8  
Variação do pH e oxigênio dissolvido, em um período de 24 horas, na lagoa de maturação

que um dos fatores determinantes do desaparecimento de algas nesse meio é a produção de toxinas pelas bactérias que aí se multiplicam.

Como seres aeróbios que são, os peixes na densidade de estocagem utilizada (10/m<sup>2</sup> em adição aos novos indivíduos acrescidos à população pela reprodução) provavelmente contribuíram para a depleção do oxigênio dissolvido, apesar de que a grande concentração de algas existentes nas lagoas presumivelmente exerceu um efeito significativo no consumo desse gás, através da atividade respiratória, principalmente nos períodos de ausência de luz (à noite) e no fundo das lagoas.

De acordo com Boyd (1973) et alii (1978) e Romaine et alii (1978), a maioria dos casos de depleção de O<sub>2</sub> em tanques fertilizados e estocados com peixes resultam, principalmente, das altas taxas de respiração noturna acarretadas pelas densas comunidades planctônicas.

Na lagoa F<sub>2</sub>, foram registrados até 0,0 mg/l de oxigênio dissolvido em certas horas noturnas (figura 7 e tabela 11). Na lagoa F<sub>1</sub>, os níveis de oxigênio dissolvido no período noturno sempre foram superiores aos da lagoa F<sub>2</sub>. O motivo, como já foi discutido, poderia ser o menor número de seres respirando (menor quantidade de fitoplâncton e ausência de peixes).

Através de todas as considerações anteriores, da avaliação e interpretação dos resultados, verificou-se que a in-

Tabela 9 — Variações do oxigênio dissolvido (mg/l), pH e transparência da água (disco de Secchi) ocorridas nas lagoas facultativa 1 (sem peixes) e facultativa 2 (com peixes) no período de 12/04/83 a 20/05/83

Data	LAGOA FACULTATIVA 1 (sem peixes)						LAGOA FACULTATIVA 2 (com peixes)									
	Período da Manhã			Período da Tarde			Período da Manhã				Período da Tarde					
	O.D.		disco de Secchi (cm)	O.D.		pH	O.D.		pH	disco de Secchi (cm)	O.D.		pH	O.D.		pH
	S	F		S	F		S	F			S	F		S	F	
12/04/83	1,4	1,0	20	8,1	7,6	7,8	7,5	3,6	2,2	8,8	8,6	15	10,2	1,8	9,2	8,7
19/04/83	2,0	0,6	15	8,3	8,1	8,4	8,1	4,4	1,8	9,4	9,4	15	10,0	1,4	9,6	9,2
20/04/83	0,8	0,4	20	7,8	7,5	7,9	7,5	5,0	0,8	8,3	8,3	15	6,6	1,2	9,2	8,5
28/04/83	1,0	0,4	15	7,6	7,4	7,6	7,3	4,0	1,4	8,6	8,2	15	9,8	1,2	9,4	7,8
03/05/83	0,4	0,4	15	7,3	7,2	8,9	7,2	2,0	0,8	8,8	8,5	15	10,2	1,2	9,4	8,6
10/05/83	0,4	0,4	15	7,3	7,2	7,6	7,4	3,0	0,8	9,1	9,1	15	9,6	1,2	9,0	8,6
17/05/83	0,4	0,6	15	7,3	7,4	7,5	7,3	0,4	0,2	7,9	7,9	15	7,6	1,4	9,2	8,7
20/05/83	0,6	0,4	15	7,4	7,5	9,3	8,1	1,0	1,0	7,7	7,7	15	8,8	2,6	9,6	8,6
MÉDIA DO PERÍODO	0,8	0,5	18	7,6	7,5	8,1	7,5	2,9	1,1	8,6	8,5	15	9,1	1,5	9,3	8,6

S = Superfície (20cm de profundidade)  
F = Fundo (60cm de profundidade)

Manhã (9h00)  
Tarde (15h00)

maior concentração de células de algas na F<sub>2</sub> na coluna d'água foi mais uma vez confirmada pela influência dos peixes, impedindo a sedimentação do fitoplâncton. A menor quantidade de clorofila na coluna d'água da lagoa F<sub>1</sub> pode também ter outra explicação adi-

cional, ou seja, pode ter ocorrido nessa lagoa certa inibição da multiplicação das algas por subprodutos da decomposição anaeróbia liberados pelo sedimento, como H<sub>2</sub>S por exemplo. Segundo Branco (1972), em águas poluídas por matéria orgânica, parece

produção de peixes em lagoas de tratamento de resíduos orgânicos apresenta realmente aspectos positivos.

Ecologicamente, pode-se afirmar que, quanto maior a diversidade em espécies, há um maior aproveitamento dos níveis tróficos, o que conduz à

Tabela 10 — Médias mensais das temperaturas máximas e mínimas registradas nas lagoas de estabilização com peixes: facultativa 2 e de maturação

Meses	LAGOA FACULTATIVA		LAGOA DE MATURAÇÃO	
	Temperatura		Temperatura	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Junho (82)	22,7	19,3	22,0	19,2
Julho	24,1	17,3	23,8	18,3
Agosto	26,1	18,0	25,3	18,6
Setembro	27,1	18,8	25,6	18,8
Outubro	28,5	21,6	27,2	20,6
Novembro	32,4	24,3	33,6	23,5
Dezembro	29,5	23,5	30,1	22,3
Janeiro (83)	31,0	24,5	31,8	23,6
Fevereiro	32,1	24,1	32,7	23,8
Março	29,6	23,1	30,6	22,0
Abril	28,6	22,4	29,5	21,9
Maió	25,4	20,5	26,0	20,0
Junho	22,2	18,6	23,2	18,0
<b>MÉDIA GERAL</b>	<b>28,1</b>	<b>21,4</b>	<b>27,8</b>	<b>20,8</b>

maior estabilidade do ecossistema. Desta forma, os peixes, ao serem introduzidos em lagoas de estabilização, estão completando a cadeia ecológica e contribuindo para um ambiente mais equilibrado, pois, conforme ficou evidenciado, a lagoa F<sub>2</sub> que continha peixes permaneceu mais estável e teve o seu funcionamento melhorado. Noble (1975), nesta mesma linha de pensamento, sugere a utilização de efluen-

tes de estações de tratamento de resíduos orgânicos para cultivo de peixes, especialmente policultura, pois populações mistas exploram o habitat mais eficientemente, como demonstrado por vários especialistas na área.

Schroeder (1975) afirmou que, em consequência da riqueza de nutrientes liberados na degradação dos resíduos orgânicos, elevada concentração de fitoplâncton é produzida, ocorrendo

períodos de morte de células também em grande quantidade. Em decorrência estabelecem-se ciclos de aerobiose e anaerobiose, prejudicando o tratamento nas épocas de ausência de oxigênio dissolvido. Conforme explicado pelo autor, a introdução de peixes teria o objetivo de coletar microorganismos do fitoplâncton, diminuindo sua densidade e colaborando desta maneira para evitar as grandes oscilações de oxigênio dissolvido, promovendo assim um melhor funcionamento do sistema.

Resumindo, parece que os peixes contribuem efetivamente para um sistema mais balanceado biologicamente. O resultado é a manutenção de valores médios de oxigênio dissolvido e pH mais altos no interior da massa d'água e ambas as mudanças são melhoramentos para a operação de uma lagoa de estabilização projetada com o propósito de obter um efluente com baixos níveis de DBO, nutrientes e bactérias.

## 6 Conclusões

— A lagoa facultativa 2 (com peixes) foi mais estável, não apresentando os desequilíbrios que ocorreram muitas vezes na lagoa facultativa 1 (sem peixes) como bloom de microcrustáceos, subida de material bentônico para a superfície, anaerobiose total em certos períodos em plena luz do dia e outros sintomas de mau funcionamento.

— Quanto à média de remoção de DBO e outros parâmetros, não houve, aparentemente, diferenças significativas entre as lagoas facultativas, embora as observações e análise detalha-

Tabela 11 — Valores de pH e oxigênio dissolvido registrados em um período de 24 horas (20-21/05/1983)

Horas	LAGOA FACULTATIVA 1				LAGOA FACULTATIVA 2				LAGOA DE MATURAÇÃO			
	pH		O.D.		pH		O.D.		pH		O.D.	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
9h00	7,4	7,5	0,6	0,4	7,7	7,7	1,0	1,0	8,3	8,4	2,8	2,8
12h00	8,4	7,4	3,4	1,2	8,6	8,2	6,0	3,8	9,4	9,1	8,4	3,4
15h00	9,3	8,1	2,6	1,6	9,6	8,6	8,8	2,6	10,2	9,0	20,0	3,8
18h00	7,7	7,3	5,4	1,0	7,5	7,5	2,6	3,0	9,3	8,8	10,6	3,8
21h00	7,2	7,2	1,2	1,0	7,4	7,4	1,2	1,2	8,8	8,4	6,2	4,8
24h00	7,1	7,2	0,0	0,2	7,3	7,3	0,0	0,0	8,4	8,4	3,6	3,8
03h00	7,1	7,1	0,1	0,1	7,3	7,3	0,0	0,0	8,2	8,2	2,8	2,8
06h00	7,1	7,1	0,1	0,1	7,3	7,3	0,0	0,0	7,9	8,0	1,8	2,0
09h00	7,2	7,2	0,4	0,2	7,5	7,6	1,0	1,0	8,4	8,2	2,6	2,4

S = Superfície (20cm de profundidade)

F = Fundo (60cm de profundidade)

Gêneros	Ocorrência			Tabela 12 — Organismos do fitoplâncton predominantes nas lagoas de estabilização (julho/1982 a junho/1983)
<i>Tetraedron</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Dictyosphaerium</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Micractinium</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Ankistrodesmus</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Scenedesmus</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Golenkinia</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Chlorella</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	Maturação	
<i>Euglena</i>	Facultativa 1	Facultativa 2	-	
<i>Chlamydomonas</i>	Facultativa 1	-	-	
<i>Trachelomonas</i>	Facultativa 1	-	-	
<i>Carteria</i>	Facultativa 1	-	-	

Observação: Nota-se que os cloroflagelados *Chlamydomonas*, *Trachelomonas* e *Carteria* só foram registrados na lagoa facultativa 1.

Meses	Facultativa 1 (F <sub>1</sub> )	Facultativa 2 (F <sub>2</sub> )	Maturação	Tabela 13 — Médias mensais da quantidade de fitoplâncton encontrada nas lagoas de estabilização (n.º de organismos/ml)
Julho (82)	66.143	639.000	113.200	
Agosto	298.200	660.000	131.840	
Setembro	575.200	1.260.000	152.400	
Outubro	241.600	1.011.200	396.800	
Novembro	367.000	1.093.300	968.100	
Dezembro	666.000	1.003.200	1.996.800	
Janeiro (83)	354.400	1.320.000	2.000.000	
Fevereiro	457.600	1.532.800	2.192.000	
Março	1.920.000	932.000	3.050.000	
Abril	876.000	800.000	680.000	
Maió	1.617.000	1.285.000	740.000	
Junho	1.200.000	760.000	622.000	

Observação: O tamanho das células da lagoa de maturação foram menores que as encontradas nas outras lagoas.

da dos dados em conjunto revelem um melhor funcionamento da lagoa que continha peixes.

— Os peixes concorreram para a instalação e manutenção de um ambiente mais estabilizado e homogêneo, provavelmente pelas seguintes razões:

a) impedindo, através do efeito **grazing**, o crescimento excessivo do fitoplâncton, pois, como consequência de

tal crescimento, há também a morte em massa desses microorganismos, causando elevada DBO na coluna d'água;

b) controlando a população de zooplâncton, principalmente os microcrustáceos, e mantendo-a em números compatíveis com o bom desempenho da lagoa;

c) promovendo a circulação e mis-

tura desejável da água, através de sua movimentação e hábitos de agitar o sedimento;

d) evitando a sedimentação de algas, através da circulação da água, o que as tornaria elementos inertes em termos de produção de oxigênio, pois ficariam fora do alcance da energia luminosa.

**Tabela 14 — Aspectos qualitativos (microscópicos) do lodo existente nas lagoas de estabilização**

**Lagoa de estabilização 1 (F<sub>1</sub>)**

De acordo com o observado, havia duas camadas distintas. Uma superior, na qual se encontravam depositadas muitas algas vivas (*Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* e *Chlorella*).

Lago abaixo desta massa de algas havia um segundo extrato composto basicamente de um material marrom-amarelado e algas mortas em vários estágios de decomposição. Foi observada também a presença de muitas bactérias. As partículas nesta segunda camada estavam frouxamente ligadas.

**Lagoa facultativa 2 (F<sub>2</sub>)**

O sedimento apresentava aspecto mais homogêneo, de cor marrom-amarelada, mas com ausência de algas (o detalhe mais evidente). As partículas eram bem menores, de um material bem homogêneo e uniforme, formando, praticamente, uma única camada. Não havia algas em decomposição e, tanto macro como microscopicamente, este lodo parecia estar mais estabilizado (o que foi confirmado pelas análises de DQO e sólidos voláteis).

**Lagoa de maturação**

O lodo mostrou grande semelhança com o da lagoa facultativa 2, só diferindo na quantidade (espessura da camada).

**Tabela 15 — Valores revelados pela análise do lodo das lagoas de estabilização**

Parâmetros	Lagoa Facultativa 1	Lagoa Facultativa 2	Lagoa de Maturação
DQO (mg/l)	17.928	12.948	6.773
N total (mg/l)	805	686	406
P total (mg/l)	182	152	105
S totais (mg/l)	13.380	12.825	5.880
S fixos (mg/l)	2.695	3.831	1.595
S voláteis (mg/l)	10.684	8.994	4.285
Matéria orgânica (%)	80	70	73
Espessura da camada (cm)	5,5	5,0	1,0
Volume total (l)	388,5	352,2	196,2

e) alimentando-se da própria matéria orgânica bruta do afluente, evitando o acúmulo excessivo de lodo no sedimento e diminuindo assim a carga orgânica efetiva de entrada;

f) alimentando-se de detritos depositados no sedimento.

**7 Referências bibliográficas**

BOYD, C. E. (1973). The chemical oxygen demand of waters and biological materials from ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102:606-611.  
 BOYD, C. E.; ROMAIRE, R. P. & JOHNSTON, E. (1978). Predicting early morning dissolved oxygen concentrations in channel cat fish ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107:484-492.  
 BRANCO, S. M. (1972). A autodepuração dos cursos d'água. In: *Poliuição e Piscicultura*, pp. 53-61. Faculdade de Saúde Pública da USP e Instituto de Pesca CPRN, São Paulo.

BUCK, D. H., BAUR, R. J. & ROSE, C. R. (1978). Utilization of swine manure in a polyculture of Asian North American Fishes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107(1): 216-222.

CARPENTER, R. L.; COLEMAN, M. S. & JAMAN, R. (1976). Aquaculture as an alternative wastewaters treatment systems. In: *Biological Control of Water Pollution* (Tourbier, J. & Pierson, R. W. ed.) pp. 215-224. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pa.

EDWARDS, P.; SINCHUMPASAK, On-Annong & TABUCANON, M. (1981a). The harvest of microalgae from the effluent of a sewage fed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica*.

Part 1: Description of the system and study of the high rate pond. *Aquaculture*, 23- 83-105.

EDWARDS, P.; SINCHUMPASAK, On-Annong & TABUCANON, M. (1981b) The harvest of microalgae from the effluent of a sewage fed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica*.

Part 2: Studies of the fish ponds. *Aquaculture*, 23: 107-147.

FITZGERALD, G. D. & ROHLICH, G. A. (1958). An evaluation of stabilization pond literature. *Sewage and Industrial Wastes*, 30 (10): 1213-1224.

GOLTERMAN, H. L. & CLYMD, R. S. (1971). Methods for chemical Analysis of Fresh waters. IBP Handbook n.º 8. Blackwell Scientific Publications.

LOWE, McCONNEL, R. H. (1982) Tilapias in fish communities. Oxford, 171 pp. In: The biology and culture of Tilapias (Pulin, R. S. U. & Lowe-McConnell, R. H. ed) pp. 83-113. Iclarm Conference Proceedings 7, Manila, Philippines.

MARA, D. (1976). Sewage Treatment in Hot Climates. John Wiley & Sons, London.

MERON, A., REBHUN, M. & SLESS, B. (1965). Quality changes as a function of detention time in Wastewater stabilization ponds. *J. Water Poll. Cont. Fed.* 37(12): 1657-1670.

NOBLE, R. (1975) Growing fish in sewage. *New scientist*, 259-261.

PIPES, W. D. (1961). Basic biology of stabilization ponds, water 8 sewage works; april: 131-136.

PIPES, W. D. (1962). pH variation and BOD removal in stabilization ponds. *J. Water*

*Poll. Cont. Fed.*, 34(11) novembro: 1140-1150.

ROMAIRE, R. P.; BOYD, C. E. & COLLIS, W. J. (1978). Predicting nighttime dissolved oxygen decline in ponds used for Tilapia culture. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107 (6):804-808.

SCHROEDER, G. L. (1975). Some aspects of stocking fish in waste treatment ponds. *Water Research* 9(5/6): 591-594.

SILVA, S. A. & MARA, D. D. (1979). Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização. 1.ª ed. Abes, Rio de Janeiro.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1976). 14a. ed. Washington — Apha — AWWA — WPCF, 1193 p.

VICTORETTI, B. A. (1964). Contribuição ao emprego de Lagoas de Estabilização como processo para depuração de esgotos domésticos. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 150 p.