

Estudo de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico na região Centro-Oeste

Paulo Shimada (1)
Francisco R. A. Bidone (1)
Manoel de Almeida Filho (1)

Resumo

São apresentados resultados referentes ao monitoramento de um sistema de tratamento de efluente doméstico, através de lagoas de estabilização, na cidade de Cuiabá. Foram analisados 23 parâmetros de natureza física, química, bacteriológica e de biomassa durante doze meses. Com relação a DBO as lagoas apresentaram uma remoção de 90%, enquanto a redução de coliformes fecais e estreptococos fecais foi de 99,9980% e 99,9933%, respectivamente. Os dados demonstram ampla viabilidade no emprego de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico na região.

1 Introdução

O Brasil vem enfrentado graves problemas de saneamento básico, notadamente no setor de tratamento de águas residuárias, em virtude da escassez de recursos e, sobretudo, pelo alto custo das instalações denominadas convencionais.

Inúmeros estudos mostram que a falta de tratamento adequado dos resíduos líquidos lançados nos corpos receptores promove, além de graves desequilíbrios ecológicos, consequências negativas de ordem política, econômica e social.

É necessário que os recursos aplicados no setor revertam efetivamente em benefício da sociedade. Para tanto, a busca de novas tecnologias, visando reduzir os custos sem prejuízo da eficiência de tratamento, torna-se de fundamental importância.

Dentre os sistemas econômicos de tratamento de efluentes líquidos, destacam-se as lagoas de estabilização. No Brasil existem, entre outros, trabalhos realizados por Kawai em São Paulo e Anselmo Silva em Campina Grande, na Paraíba. Esses estudos demonstram que, para as condições locais, as lagoas de estabilização são sistemas eficientes e econômicos, adequadas ao tratamento de esgotos de pequenas e médias comunidades.

Apesar da simplicidade como é apresentado na prática, o mecanismo de depuração biológica das lagoas de estabilização envolve uma complexidade de parâmetros, ainda carecedores de uma base fundamentada. Preconizavam os referidos autores a necessidade de um maior número de levantamento de dados, se possível, em várias regiões do país, que viessem a somar esforços na obtenção de parâmetros de projeto nas condições brasileiras.

Tendo em vista as amplas possibilidades de emprego das lagoas de estabilização no Centro-Oeste brasileiro, especificamente em Mato Grosso, e diante da inexistência de dados relativos ao seu funcionamento, propôs-se o monitoramento de um sistema em série que trata esgoto predominantemente doméstico de um bairro de Cuiabá.

Espera-se que, em continuidade, outros trabalhos sejam realizados, uma vez que a amplitude dos problemas envolvidos demanda diferentes enfoques que não puderam ser aqui abordados.

O presente estudo apresenta resultados referentes a 12 meses de observações envolvendo 23 parâmetros de natureza física, química, bacteriológica e de biomassa. Os dados levantados demonstram que, sob vários aspectos, as lagoas de estabilização incluem-se entre os métodos mais viáveis para tratamento de esgoto doméstico na região.

2 Aspectos climáticos

O desempenho das lagoas de estabilização está intimamente associado ao clima da região. É de fundamental importância que o projetista tenha em mãos dados relativos aos fenômenos meteorológicos, os quais, além de interferir no funcionamento, são variáveis que auxiliam na formulação de inúmeros modelos de dimensionamento.

Geograficamente, a cidade de Cuiabá está situada nas seguintes coordenadas: 15° 35' 56" de latitude Sul e 56° 06' 01" de longitude Oeste.

Sob o aspecto climatológico, caracteriza-se por um clima tipo tropical quente. A Tabela 1 apresenta os valores médios anuais das observações

meteorológicas compreendidas entre 1979 e 1986, bem como a média relativa a esse período.

A frequência de temperaturas elevadas constitui característica dominante, fornecendo uma temperatura média compensada de 25,7°C. Embora tenham ocorrido baixas temperaturas, da ordem de 4,8°C, as suas influências foram mínimas em virtude da pequena duração e baixa frequência.

A umidade relativa média durante os oito anos foi de 74,7%.

O regime das chuvas é tipicamente tropical, com máximo no verão e mínimo no inverno. Obteve-se para o período analisado uma precipitação média de 1.367,1 mm por ano, sendo que as maiores intensidades concentraram-se nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. As menores precipitações ocorreram nos meses de junho, julho e agosto.

Os dados evaporimétricos apresentaram uma taxa anual média de 1.429,9 mm, ou seja, pouco superior à precipitação, que foi de 1.367,1 mm.

Em relação à insolação, obteve-se um total médio de 2.320,7 horas anuais, o que equivale a uma média diária de 6,4 horas. A incidência solar é fator essencial para o bom funcionamento das lagoas de estabilização, especialmente as facultativas e as de maturação.

3 Lagoas de estabilização

3.1 Descrição do sistema

As lagoas de estabilização que foram objeto de estudo tratam o esgoto proveniente do bairro Morada do Ouro da cidade de Cuiabá. Esse bairro caracteriza-se por ser tipicamente residencial, com pequenos comércios e sem instalações industriais. O funcionamento pleno das lagoas teve início no primeiro semestre de 1984.

O sistema de tratamento é composto de grade, caixa de areia, lagoa facultativa e duas de maturação em série, conforme esquema apresentado na Figura 1.

A lagoa facultativa tem formato retangular com 135 m de comprimento e 52 m de largura, fornecendo uma relação comprimento/largura igual a 2,6. Sua área é de 7.020 m². A pro-

(1) Docentes do Departamento de Engenharia Sanitária da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso.

ESTAÇÃO: CUIABÁ

ESTADO: MATO GROSSO

PERÍODO: 1.979/1.986

LATITUDE: 15° 36' S

LONGITUDE: 56° 07' W. Gr.

ALTITUDE DA ESTAÇÃO: 151,34 m

Tabela 1 — Observações Meteorológicas

ANO	Pressão Atm. (mb)	TEMPERATURA DO AR (°C)							Umidade Rel. (%)	Nebulosi- dade C-10	PRECIPITAÇÃO			EVAP. TOTAL (mm)	INSOLA- ÇÃO TOT. (HORAS)	
		MÉD.		MÁX. ABS.		MÍN. ABS.		MÁX. EM 24 Hs.			Altura total (mm)	Altura (mm)	DATA			
		máx.	mín.	°C	DATA	°C	DATA	comp.								°C
1.979	993,8	32,5	21,4	39,0	07.12	6,8	01.06	25,8	72,7	6,1	1257,3	102,2	17.03	1539,0	2293,0	
1.980	993,8	32,5	21,5	38,6	20.08	10,9	17.09	25,5	74,4	6,0	1622,1	70,7	09.09	1429,9	2320,7	
1.981	993,8	32,3	21,0	38,6	26.08	4,8	20.07	25,4	73,2	6,0	1283,6	105,8	22.12	1429,9	2320,7	
1.982	993,5	32,3	21,6	37,8	31.08	13,6	26.05	25,8	77,0	6,5	1263,8	78,4	27.01	1222,1	2011,7	
1.983	994,0	31,9	20,9	38,4	25.09	10,1	03.08	25,6	81,0	6,3	1686,0	70,3	01.01	1476,4	2207,8	
1.984	993,7	32,6	20,9	38,7	12.10	7,6	26.08	25,6	74,0	5,8	1213,0	78,6	13.02	1542,0	2438,5	
1.985	993,5	32,9	21,4	39,2	18.11	7,4	10.06	26,0	74,0	5,6	1247,4	64,4	20.10	1486,5	2446,4	
1.986	994,0	32,6	21,5	39,2	08.11	12,4	01.06	25,9	71,5	5,8	1363,4	100,0	29.11	1313,6	2526,7	
MÉDIA	993,8	32,5	21,3	38,7		9,2		25,7	74,7	6,0	1367,1	83,8		1429,9	2320,7	

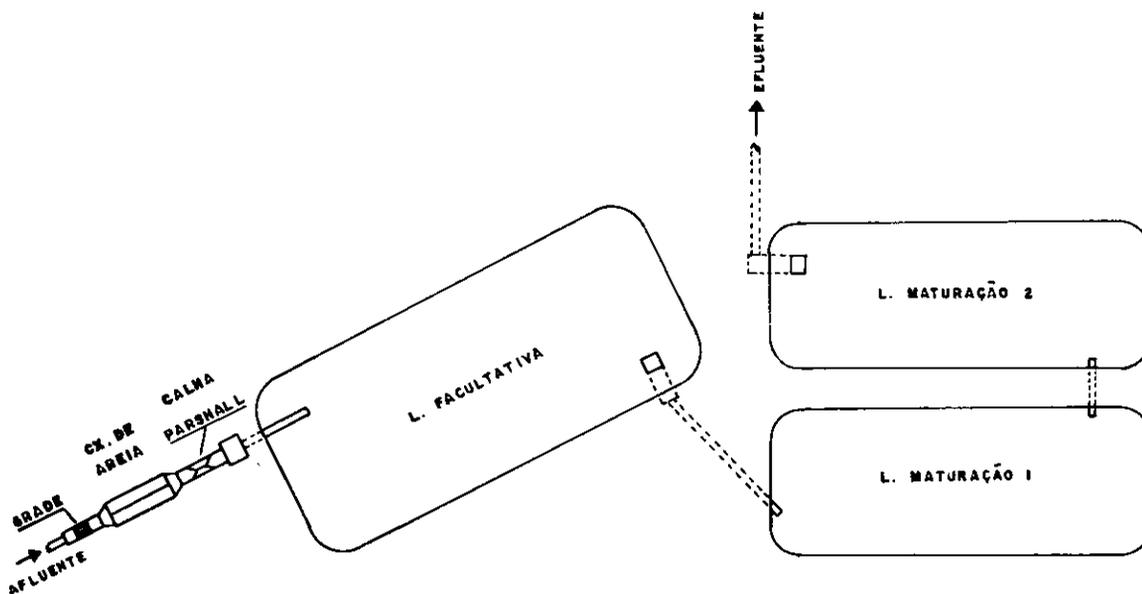


Figura 1 — Esquema das instalações de tratamento

fundidade de operação apresentou oscilações iniciais, estabilizando-se atualmente em 1,84 m.

As duas lagoas de maturação possuem dimensões iguais cujos valores são: comprimento, 105 m e largura 39 m. A área correspondente é de 4.095 m² e a relação comprimento/largura igual a 2,7. A profundidade da lagoa M1 encontra-se atualmente a 1,89 m e a M2 a 1,78 m.

Para efeito de simplificação denominar-se-á doravante a lagoa facultativa de F, a primeira lagoa de maturação como M1 e a segunda M2.

3.2 Sistema de amostragem

Os trabalhos de coleta tiveram início em março de 1986. Para os exames físicos e análises químicas as amostragens foram realizadas semanalmente, coletando-se uma alíquota de 600 ml com intervalos de uma hora, durante oito horas, obtendo-se amostras compostas. Com relação às análises bacteriológicas e de biomassa, as amostras eram coletadas semanalmente, obedecendo o mesmo horário.

As seguintes variáveis foram estudadas: pH; temperatura; alcalinidade total; cloretos; condutividade; sólidos totais, fixos e voláteis; sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis; sólidos dissolvidos totais, fixos e voláteis; sólidos sedimentáveis; DQO; DBO; sulfetos; fósforo total; nitrogênio total; coliformes fecais; estreptococos fecais e clorofila "a". Todas as análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados. As coletas eram feitas em quatro pontos: esgoto bruto, após a caixa de areia; efluente da lagoa facultativa; e nos efluentes das lagoas M1 e M2.

4 Resultados e discussões

4.1 Exames físicos e análises

Durante os 12 meses de monitoramento, as lagoas de estabilização estiveram sob operação regular, tratando integralmente o fluxo de esgoto afluente. Na Tabela 2 encontram-se as características operacionais das respectivas lagoas. A vazão média processada durante o período foi de 457,6 m³/dia, medida através de um

registrador acoplado à calha Parshall.

Nota-se que os tempos de detenção das lagoas apresentaram valores maiores àqueles normalmente adotados em projetos.

A média dos 20 parâmetros observados durante o levantamento está relacionada na Tabela 3, para os quatro pontos de amostragem. Foi calculada também a eficiência de remoção média durante o período, conforme pode ser visto na Tabela 4.

A seguir, teceremos algumas considerações a respeito de cada uma das variáveis estudadas:

a) pH

O esgoto bruto apresentou-se levemente alcalino, com um valor médio de 7,14, e sem grandes oscilações durante o período estudado. A medida que o fluxo era processado, através das lagoas F, M1 e M2, verificou-se um aumento no valor de pH. Esse fato está associado ao processo de fotossíntese no qual as algas, ao consumidor gás carbônico do meio, promovem a precipitação de carbonatos sob forma insolúvel, elevando o pH da água. Além disso, nos momen-

Tabela 2 — Características Operacionais das lagoas

Tipo de Lagoa Parâmetros	FACULT.	MAT. 1	MAT. 2
	(F)	(M1)	(M2)
Tempo de detenção (dias)	27,30	16,02	14,76
Taxa de Apl. Sup. (Kg DBO/ha.dia)	182,51	53,45	42,30
Área (ha)	0,702	0,4095	0,4095

Tabela 3 — Valores médios das variáveis nos quatro pontos de amostragem

Exames físicos/Análises químicas	Pontos de Amostragem (1)			
	EB	EF	EMI	EM2
pH	7,14	7,79	8,41	8,83
Temperatura, °C	30,47	28,70	28,80	28,47
Alcalinidade total, mg/l	181,58	128,46	108,27	92,52
Cloretos, mg/l	83,31	77,98	78,33	75,50
Condutividade, µS/cm	460,05	331,85	286,92	252,99
Sólidos totais, mg/l	564,17	357,49	299,53	303,44
Sólidos fixos, mg/l	236,12	149,13	136,46	138,39
Sólidos voláteis, mg/l	340,09	209,82	166,43	166,25
Sól. em susp. totais, mg/l	265,32	135,29	88,43	86,58
Sól. em susp. fixos, mg/l	52,90	15,37	9,22	8,35
Sól. em susp. voláteis, mg/l	202,18	106,48	70,86	67,68
Sól. diss. totais, mg/l	315,79	242,94	236,52	236,98
Sól. diss. fixos, mg/l	163,00	132,53	128,64	132,38
Sól. diss. voláteis, mg/l	150,71	110,97	105,90	103,57
Sólidos sedimentáveis, ml/l	5,43	0,36	0,0	0,0
D. Q. O., mg/l	567,05	228,67	163,96	141,59
D. B. O., mg/l	279,95	47,83	37,85	29,26
Sulfetos, mg/l	12,77	4,11	0,36	0,16
Fósforo total, mg/l	7,29	4,96	4,21	3,72
Nitrogênio total, mg/l (2)	38,02	24,23	16,37	11,83
Análises Bacteriológicas				
Coliformes fecais, NMP/100 ml	$3,8 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^3$
Estrep. fecais, NMP/100 ml (3)	$9,6 \cdot 10^7$	$6,0 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^3$
Análise de biomassa				
Clorofila a, µg/l		626,26	529,19	354,72

(1) EB = Esgoto bruto; EF = Efluente da lagoa facultativa; EMI = Efluente da lagoa de maturação 1; EM2 = Efluente da lagoa de maturação 2.

(2) últimos 7 meses de amostragem

(3) últimos 8 meses de amostragem

tos de alta intensidade solar a taxa de consumo de CO₂ pelas algas é maior que a sua produção através da respiração bacteriana, gerando um aumen-

to substancial no pH da água. Embora as algas apresentem um campo de tolerância de pH maior que o das bactérias, não há dúvida de que os

altos valores de pH inibem a produção de oxigênio fotossintético.

b) Temperatura

A temperatura média do esgoto bruto durante o período estudado foi de 30,47°C. Esse valor, bem como o dos efluentes das lagoas F, M1 e M2, corresponde à média das temperaturas das amostras coletadas no período diurno. Os efluentes das lagoas F, M1 e M2 forneceram as seguintes temperaturas: 28,70°C, 28,80°C e 28,47°C, respectivamente. A meia profundidade a lagoa facultativa apresentou uma temperatura média de 27,0°C. As altas temperaturas predominantes nas lagoas favorecem o processo de degradação biológica, constituindo-se em uma característica vantajosa ao funcionamento desse sistema na região.

c) Alcalinidade total

A alcalinidade é um parâmetro de grande importância nos processos biológicos de tratamento, promovendo a manutenção do valor de pH dentro dos limites ótimos de atividade bacteriana. O sistema de tratamento estudado promoveu uma remoção global de 49%, sendo que 29% foi devida à lagoa facultativa. Em média, o efluente final apresentou uma concentração de 92,52 mg/l, valor esse que não compromete os mananciais superficiais.

d) Cloretos

Os cloretos influem na solubilidade do oxigênio na água. Os sistemas convencionais de tratamento, inclusive as lagoas de estabilização, apresentam baixa eficiência de remoção de cloretos. Apesar do elevado tempo de detenção a redução foi de apenas 9%. As concentrações médias observadas nas diferentes lagoas não ultrapassam 85 mg/l, cujo efeito poluidor é insignificante.

e) Condutividade

A condutividade depende da quantidade de sais dissolvidos. O esgoto bruto apresentou um valor médio de 460,05 µS/cm. As lagoas promoveram uma redução de 45%, sendo descarregado no corpo receptor um efluente com condutividade média igual a 252,99 µS/cm.

f) Sólidos

Quanto ao teor de sólidos totais, em suspensão e dissolvidos, as lagoas de estabilização não apresentaram bom desempenho, em parte devido à elevada produção de biomassa. A remoção de sólidos totais no sistema foi de 46,21%. Pode-se constatar que a lagoa M2 não favoreceu, de maneira geral, a remoção de sólidos, podendo inclusive em certos casos reverter o processo aumentando a concentração, conforme se pode verificar nas Tabelas 3

Tabela 4 — Eficiência das lagoas em termos de redução dos diferentes parâmetros (%)

Exames físicos/Análises químicas	Tipo de lagoas (1)		
	F	M1	M2
Alcalinidade total, mg/l	29	16	15
Cloretos, mg/l	6	0	4
Condutividade, μ S/cm	28	14	12
Sólidos totais, mg/l	37	16	-1
Sólidos fixos, mg/l	37	8	-1
Sólidos voláteis, mg/l	38	21	0
Sól. em susp. totais, mg/l	49	35	2
Sól. em susp. fixos, mg/l	71	40	9
Sól. em susp. voláteis, mg/l	47	33	4
Sól. diss. totais, mg/l	23	3	0
Sól. diss. fixos, mg/l	19	3	-3
Sól. diss. voláteis, mg/l	26	5	2
Sólidos sedimentáveis, ml/l	93	100	-
D. Q. O., mg/l	60	28	14
D. B. O., mg/l	83	21	23
Sulfetos, mg/l	68	91	56
Fósforo total, mg/l	32	15	12
Nitrogênio total, mg/l (2)	36	32	28
Análises Bacteriológicas			
Coliformes fecais, NMP/100 ml	99,6527	94,1203	90,2046
Estrep. fecais, NMP/100 ml (3)	99,3719	95,7380	75,0584

(1) F = Lagoa facultativa; M1 = Lagoa de Maturação 1; M2 = Lagoa de Maturação 2.

(2) últimos 7 meses de amostragem.

(3) últimos 8 meses de amostragem.

e 4. Com relação aos sólidos em suspensão totais, o sistema de tratamento promoveu uma remoção de 67,37%.

Em geral, as lagoas apresentaram baixa eficiência na remoção de sólidos dissolvidos, com apenas 24,96% para os totais. É interessante notar que os efluentes das diferentes lagoas apresentaram uma concentração de sólidos dissolvidos sempre superior aos sólidos em suspensão, quer para os sólidos totais, fixos ou voláteis. Os sólidos sedimentáveis foram integralmente removidos através do sistema. Somente a lagoa facultativa contribuiu com uma redução de 93%. Constatou-se que, para todos os tipos de sólidos, a eficiência de remoção da lagoa F é predominante.

g) DQO

Com relação à DQO, o sistema apresentou uma eficiência global de 75%.

Desse total, 60% se referem à remoção efetuada pela lagoa F. Isto demonstra a importância da lagoa facultativa nesse sistema de tratamento, decorrente de uma atividade mais intensa dos mecanismos que participam efetivamente do tratamento. Em relação ao esgoto bruto constatou-se um aumento no teor de matéria orgânica não biodegradável, provavelmente em decorrência dos subprodutos metabolizados pelos organismos envolvidos no processo.

h) DBO

A eficiência do conjunto de lagoas para a remoção de DBO foi de 90%. No entanto, somente a lagoa F foi responsável por uma redução de 83%, mostrando a pequena influência das lagoas de maturação. Convém salientar que os ensaios foram realizados em amostras não filtradas.

Estudos comparativos foram efetuados com diferentes modelos para a lagoa facultativa e se encontram resumidos na Tabela 5. O modelo de degradação de primeira ordem forneceu um valor de K, igual a 0,178/d. Adotando-se $\phi = 1,035$ o valor de K, 20° obtido foi de 0,140/d. Como as lagoas de estabilização raramente funcionam sob condições de mistura completa ou de plug-flow, seria mais conveniente o emprego da equação de Wehner-Willem, desenvolvido para fluxo disperso não ideal. As propriedades hidrodinâmicas do fluxo nas lagoas desempenham importante papel na eficiência de remoção de substrato. Baixas eficiências de remoção geralmente estão associadas com problemas de curto-circuito ou zona morta.

Os modelos estatísticos estudados não mostraram grandes variações nos resultados. Aquele que mais se aproximou ao valor real da carga removida pela lagoa F, que foi de 151,32 kg DBO/ha.dia, é o proposto por Kawai para o Estado de São Paulo. No entanto, o sistema está sendo operado com capacidade ociosa, pois, se considerarmos uma carga de 250 kg DBO/ha.dia, que é o máximo preconizado para São Paulo, um fluxo adicional de 169,25 m³/d de esgoto poderia ser processado pelo sistema.

Adotando-se as condições do Nordeste, cuja taxa indicada é de 400 kg DBO/ha.dia, o dobro da vazão atual poderia ser tratado. Como as características climáticas do Estado de Mato Grosso mais se assemelham às do Nordeste, o estabelecimento dos mesmos valores para os parâmetros de projeto não conduziria em grande erro, desde que cuidados fossem tomados nas estruturas de entrada e saída das lagoas no sentido de minimizar os efeitos de curto-circuito e zona morta. Evidentemente, somente os levantamentos de campo permitirão avaliar as reais consequências dessas medidas. Nessas condições, a possibilidade que o sistema apresenta de tratar um fluxo adicional de aproximadamente 545 m³/dia representa uma economia considerável. Em termos populacionais equivaleria ao tratamento suplementar de cerca de 5.450 habitantes, considerando a hipótese de que a contribuição "per capita" de esgoto seja de 100 litros por dia.

As lagoas de maturação apresentaram baixa eficiência em termos de remoção de DBO. Conseguiram-se obter, para as lagoas M1 e M2, 21% e 23% de redução respectivamente, valores já esperados, tendo em vista que o objetivo principal dessas lagoas de polimento é a remoção de bactérias.

Tabela 5 — Quadro-resumo dos modelos analisados para a lagoa facultativa

MODELO	OBSERVAÇÕES
a) degrad. de 1ª ordem $S = \frac{S_0}{K_T \cdot t + 1}$	$K_{T,27^\circ} = 0,178 \text{ d}^{-1}$ $K_{T,20^\circ} = 0,140 \text{ d}^{-1} (\theta = 1,035)$
b) McGarry e Pescod $\lambda_r = 10,35 + 0,725 \lambda_a$	$\lambda_r = 142,67 \text{ Kg DBO/ha.dia}$
c) Mara e Silva $\lambda_r = 2 + 0,79 \lambda_a$	$\lambda_r = 146,18 \text{ Kg DBO/ha.dia}$
d) Yanez $\lambda_r = 7,67 + 0,8063 \lambda_a$	$\lambda_r = 154,82 \text{ Kg DBO/ha.dia}$
e) Kawai $\lambda_r = 0,2243 + 0,8332 \lambda_a$	$\lambda_r = 152,29 \text{ Kg DBO/ha.dia}$

onde:

- S_r, S_0 = concentração de DBO no efluente e afluente da lagoa;
 K_T = constante de degradação de 1ª ordem que é função da temperatura;
 t = tempo de detenção em dias;
 λ_r = carga removida em Kg DBO/ha.dia;
 λ_a = carga aplicada = 182,51 Kg DBO/ha.dia;
 λ_{real} = carga removida real = 151,32 Kg DBO/ha.dia.

Tabela 6 — Valores de K_b para as lagoas F, M1 e M2 (*)

Tipo de análise	Lagoas		
	F	M1	M2
Coliformes fecais	10,52	1,00	0,63
Estreptococos fecais	5,80	1,41	0,20

(*) obtido conforme a expressão:

i) Sulfetos

Os sulfetos são substâncias que produzem maus odores. Na ausência de oxigênio os sulfatos são quimicamente reduzidos a sulfetos através de bactérias. Além disso, em condições ambientais favoráveis, complexos processos biológicos transformam o sul-

feto de hidrogênio em ácido sulfúrico, causando sérios danos às tubulações de concreto através da corrosão. A eliminação de sulfetos foi quase que total através do sistema. Foram detectadas concentrações médias de 0,36 mg/l e 0,16 mg/l nos efluentes das lagoas M1 e M2, respectivamente.

j) Fósforo total e nitrogênio total

A eficiência global de remoção de fósforo total foi da ordem de 49%. Como os processos biológicos de tratamento utilizam o fósforo como nutriente, a maior redução foi observada na lagoa facultativa em decorrência de uma atividade biológica mais intensa. As lagoas M1 e M2 apresentaram respectivamente uma redução de 15% e 12%.

Quanto ao nitrogênio total, a remoção através das lagoas foi de 69%. Nos sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, considerável parcela de nitrogênio é incorporada em células de fitoplâncton e bactérias.

A presença de nitrogênio e fósforo é indesejável na água pelo fato de promover a eutrofização. Tem-se verificado que concentrações acima de 0,30 mg/l de nitrogênio e 0,01 mg/l de fósforo favorecem o desenvolvimento de fenômeno conhecido como floração das águas. Portanto, apesar da remoção conseguida pelas lagoas, é aconselhável que se reduza ainda mais qualquer um dos elementos para que ocorra uma queda na produção de algas.

4.2 Análises bacteriológicas

Os organismos do grupo coliforme são utilizados há longa data como índice de poluição por matéria fecal. Sob o ponto de vista sanitário é da maior importância que a concentração desses indicadores se mantenha dentro dos padrões permissíveis para os diversos usos da água.

A quantidade de estreptococos fecais (EF) lançados pelo homem é menor que o de coliformes fecais (CF). Como a razão CF/EF é diferente para os despejos de origem doméstica e animal, a determinação de EF possibilita identificar a provável fonte de poluição.

A importância das lagoas de estabilização na remoção de coliformes fecais e estreptococos fecais é bastante conhecida. Os principais fatores que promovem o decaimento bacteriano nesse sistema de tratamento estão relacionados com a temperatura, grau de mistura e tempo de detenção.

Os valores médios das determinações de CF e EF nos quatro pontos de amostragem estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 encontram-se os dados relativos à eficiência de remoção e na Tabela 6 os valores de K_b encontrados para as diferentes lagoas.

$$N_1 = N_0 / (1 + K_b \cdot t_1) (1 + K_b \cdot t_2) \dots$$

$(1 + K_b \cdot t_n)$, onde N_0 e N_n são a con-

centração de bactérias no efluente e afluente respectivamente; K_b = constante de degradação de primeira ordem para remoção de bactérias, d^{-1} ; e t = tempo de detenção em dias.

Os índices bacteriológicos referentes ao esgoto bruto apresentaram-se pouco acima da média citada na lite-

ratura. No entanto, essa diferença é resultado da interferência de alguns fatores, tais como idade do esgoto, diluição e horário de coleta.

Devido ao alto período de detenção, a lagoa facultativa apresentou uma boa eficiência. Esse fato pode ser comprovado através do valor de K_b obtido pa-

ra uma temperatura média a meia profundidade de 27,0°C. Por outro lado, o desempenho das lagoas de maturação, apesar do elevado período de detenção, foi apenas razoável. Ambas apresentaram baixos valores de K_b , tanto para coliformes fecais como para estreptococos fecais.

Gênero de Algas/Grupo Sistemático	Tipo de Lagoas		
	F	M1	M2
Agmenellum/Algas Azuis	8	14	0
Ankistrodesmus/Algas Verdes	97	92	49
Botryococcus/Algas Verdes	11	5	3
Carteria/Cloroflagelado	24	32	5
Chlamydomonas/Cloroflagelado	97	95	84
Chlorella/Algas Verdes	95	78	30
Chlorococcum/Algas Verdes	38	49	11
Chlorogonium/Cloroflagelado	22	51	27
Chrysococcus/Cloroflagelado	24	19	8
Coelastrum/Algas Verdes	30	27	3
Cosmarium/Algas Verdes	3	8	3
Diatomáceas	14	14	5
Eudorina/Cloroflagelado	3	11	0
Euglena/Cloroflagelado	78	73	62
Golenkinia/Algas Verdes	46	35	8
Lepocinles/Cloroflagelado	59	43	11
Micractinium/Algas Verdes	65	51	11
Microcystis/Algas Azuis	11	51	95
Oocystis/Algas Verdes	11	19	5
Oscillatória/Algas Azuis	95	95	95
Pandorina/Cloroflagelado	43	57	38
Phacus/Cloroflagelado	89	73	46
Phytoconis/Algas Verdes	84	65	16
Pyrobrotys/Cloroflagelado	41	11	3
Scenedesmus/Algas Verdes	78	62	24
Sphaerocystis/Algas Verdes	3	5	3
Staurastrum/Algas Verdes	5	11	5
Tetraedron/Algas Verdes	5	16	0
Trachelomonas/Cloroflagelado	84	89	84

Tabela 7 —
Porcentagem de presença de diferentes gêneros de algas em relação ao número total de observações

Esperava-se uma maior eficiência das lagoas na remoção de CF e EF. As possíveis causas que resultaram nesse baixo desempenho estão associadas ao comportamento hidrodinâmico das lagoas, que forneceu um fluxo pobre em termos de mistura em função de problemas de estratificação e localização dos dispositivos de entrada e saída das lagoas. Outra causa detectada se refere à presença de grande número de aves nativas no local. Analogamente às referências feitas com relação à remoção de matéria orgânica, enfatiza-se a importância da determinação do coeficiente de dispersão, o qual está intimamente relacionado com o valor de K_L .

4.3 Análise de biomassa

A medida de biomassa visa avaliar a capacidade de produção das populações vegetais de uma dada massa de água. Devido ao alto valor proteico, a utilização racional dessa biomassa é perfeitamente viável do ponto de vista técnico e econômico. O uso de clorofila como estimativa da biomassa de algas é bastante difundido pelo fato de ser um teste rápido, simples e com boa reprodutibilidade.

Os ensaios mostraram que as lagoas apresentam diferentes graus de produção fotossintética, conforme pode-se verificar através das concentrações médias de clorofila "a" listadas na Tabela 3. Os valores mensais mostraram grandes oscilações especialmente nas lagoas F e M1. Na lagoa M2, onde prevalece pH elevado, a concentração de clorofila "a" foi menor e esteve sujeita a variações menos bruscas, indicando possuir maior grau de estabilidade. Estudos revelam que, para pH acima de 9,0, a atividade bacteriana começa a diminuir causando uma redução na produção de CO_2 e, dessa forma, limitando o crescimento de algas. Como as coletas foram efetuadas às 8:30 horas, portanto em momento de baixa insolação, cuidados devem ser tomados para efeito de comparação. A razão entre sólidos em suspensão voláteis e clorofila foi de 5.880 para a lagoa F, 7.470 para M1 e 5.240 para M2, ressaltando-se que a primeira variável foi obtida a partir de amostra composta.

A Tabela 7 apresenta os diferentes gêneros de algas presentes nas lagoas, acompanhados da porcentagem de sua presença em relação ao total de amostragens feitas durante o estudo. O exame microscópico mostrou que a lagoa F é mais rica em gênero de algas com alta porcentagem de presença, indicando possuir um meio mais adequado para crescimento e reprodução. Além disso, era constante a formação de espessa camada de material flutuante, composto especialmente de algas, na superfície.

Os gêneros de algas predominantes na lagoa facultativa foram: Ankistrodesmus, Chlamydomonas, Chlorela, Oscillatória, Phytoconis, Phacus e Trachelomonas. Na lagoa M1 os seguintes gêneros apareceram em maior porcentagem: Ankistrodesmus, Chlamydomonas, Oscillatória e Trachelomonas. Os gêneros Chlamydomonas, Microcystis, Oscillatória e Trachelomonas foram mais frequentes na lagoa M2. Algumas algas, como Chlamydomonas, Oscillatória e Trachelomonas, estavam presentes a uma elevada taxa nas três lagoas, enquanto a Chlorela e a Pacus tinham preferência pela lagoa F e, por outro lado, o gênero Microcystis predominava na lagoa M2.

5 Conclusões

Os dados obtidos permitem concluir o seguinte:

a) A lagoa facultativa desempenha importante papel na remoção de DBO com eficiência de 83%, embora haja evidências de problemas de curto-circuito e zona morta;

b) em função do alto período de detenção, a remoção de CF e EF pela lagoa facultativa foi de 99,6527% e 99,3710%, respectivamente;

c) a lagoa M2 exerce pouca influência na remoção dos parâmetros estudados; com relação aos sólidos (totais, fixos, voláteis, em suspensão e dissolvidos), sua eficiência é desprezível;

d) com relação à redução de CF e EF, as lagoas M1 e M2 apresentaram baixa eficiência, fato esse que pode estar associado à existência de um fluxo hidráulico pobre em termos de mistura e à presença no local de grande número de aves nativas;

e) com as devidas ressalvas, o modelo estatístico para remoção de DBO em lagoa facultativa que mais se adaptou foi aquele desenvolvido por Kawai et alii;

f) o sistema de tratamento está superdimensionado; estimativas indicam que até o dobro da vazão atual poderia ser tratado;

g) parte da DBO verificada no efluente das lagoas pode ser devida à presença de grande quantidade de algas;

h) a concentração de clorofila "a" dos efluentes das lagoas segue uma tendência inversa em relação ao valor de pH;

i) existe uma clara diferenciação de gêneros de algas predominantes nas diferentes lagoas;

j) as lagoas mostraram bom desempenho no recebimento de cargas de choque; a exalação de maus odores é perfeitamente suportável;

k) pode-se constatar que a operação e manutenção das instalações é perfeitamente viável com dois operadores;

l) o sistema de tratamento por lagoas de estabilização demonstrou ser um meio seguro, eficiente e econômico de tratamento de efluentes domésticos, recomendando-se o seu emprego em nossa região, especialmente em comunidades de pequeno e médio portes.

6 Recomendações

Recomenda-se para trabalhos futuros:

a) Estudar, para as condições locais, a adaptação de peixes nas lagoas;

b) pesquisar as características hidráulicas do fluxo nas lagoas através da utilização de traçadores;

c) realizar pesquisas envolvendo a produção de proteínas e/ou polissacarídeos através da remoção (por flotação, por exemplo) das algas produzidas;

d) repetir, em intervalos de três anos, a pesquisa com a mesma metodologia, para avaliar o desempenho em função de seu "envelhecimento" e dos novos carregamentos.

7 Agradecimentos

À FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos, pelo suporte financeiro concedido.

Ao professor José Roberto Campos, pelas inúmeras sugestões apresentadas.

A SANEMAT-Companhia de Saneamento de Mato Grosso, pelo apoio e cessão das instalações.

Aos técnicos Márcio de Jesus Meca e Zoraidy Marques de Lima.

8 Referências bibliográficas

1. PIPES Jr., W. O. — Basic biology of stabilization ponds. *Water & Sewage Works*. April: 131 — 136, 1961.
2. BRANCO, S. M. — *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 2.ª ed., Cetesb, 1978.
3. SILVA, S. A. & MARA, D. D. — *Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização*. 1.ª ed., Abes, 1979.
4. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15.ª ed., 1980.
5. KAWAI, H. et alii — Estabelecimento de critérios para dimensionamento de lagoas de estabilização. *Revista DAE*, Ano XLI, n.º 127, 1981.
6. METCALF & EDDY, Inc. — *Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse*. McGraw-Hill, Inc. New York, 1982.
7. MATHEUS, C. E. — Utilização de peixes para melhorar o desempenho de lagoas de estabilização. *Revista DAE*, Ano XLVI, vol. 46, n.º 144, 1986.