

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS E INDUSTRIAIS: PROPOSTA DE REUSO NO CEARÁ.

RESUMO

O trabalho trata da avaliação do desempenho do sistema de lagoas de estabilização do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú, tratando águas residuárias domésticas e industriais (45.200 m³/dia), propondo o reuso destas nas indústrias da região, na irrigação e aquicultura.

Fernando José Araújo da Silva

Engenheiro Civil pela
Universidade de
Fortaleza
Mestre em Engenharia
Sanitária pela
Universidade Federal da
Paraliba
Professor Assistente da
Universidade de
Fortaleza-UNIFOR

**José de Andrade
Morais**

Engenheiro Civil e
sanitarista, Assessor da
Secretaria de Ciência e
Tecnologia da
Companhia de Água e
Esgoto do Ceará -
CAGECE
Mestre em Saneamento
Ambiental - Universidade
Federal do Ceará

ABSTRACT

This paper presents the performance of the waste stabilization ponds system, located in the industrial suburb of Fortaleza/Maracanaú for the treatment of domestic and industrial wastewater with flow of 45,200m³/day. Beyond it is suggested the reuse of the effluent for industries, in the irrigation and aquaculture.

Introdução

A água é o recurso natural mais importante para o homem, sendo elemento vital para o desenvolvimento de qualquer comunidade, não só do ponto de vista fisiológico de seus componentes, mas também social e econômico. Portanto, o manejo adequado e o uso

conservativo da água, são elementos indispensáveis à melhoria da qualidade de vida dos habitantes de uma comunidade, como também à manutenção da mesma.

O crescimento desordenado das cidades tem gerado uma acentuada degradação dos recursos hídricos, sendo necessário o desenvolvimento e o

emprego de tecnologias e modelos de gerenciamento ambiental que possibilitem a preservação e o uso racional da água. O principal fator de deterioração da qualidade da água dos corpos hídricos é o despejo de águas residuárias domésticas e industriais, resultantes exclusivamente da atividade humana.

Visando à diminuição dos efeitos dos despejos de efluentes em corpos hídricos receptores, foram aprimoradas diversas tecnologias de tratamento de esgotos, sendo que a qualidade alcançada nos efluentes tem sido tal, que é possível a reutilização do esgoto tratado como alternativa de conservação da água.

As lagoas de estabilização têm sido largamente empregadas por constituírem uma tecnologia de baixo custo operacional, alta eficiência no tratamento dos esgotos e possibilitar a reutilização de seus efluentes tanto para fins industriais como para a produção de alimentos na agricultura e aquicultura.

1. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

São reservatórios de pequena profundidade, delimitados, em geral, por diques de terra onde as águas residuárias são tratadas por processos inteiramente naturais, envolvendo algas e bactérias (Mara, 1976). As lagoas de estabilização podem promover a depuração de uma grande variedade de águas residuárias brutas ou previamente tratadas (Braille e Cavalcanti, 1979).

Vários autores (Silva, 1982; Ellis, 1983; Araújo, 1993; da Silva, 1994) apontam as principais vantagens do uso de lagoas de estabilização em relação aos sistemas convencionais:

a) possibilidade de obtenção de efluentes com elevado padrão microbiológico e físico-químico;

b) baixo custo de construção, onde houver disponibilidade de terreno para a sua implantação;

c) baixo custo de operação e manutenção, principalmente devido à sua simplicidade;

d) capacidade de absorver grandes variações de cargas hidráulica e orgânica.

O clima tropical, somado às vantagens já descritas, torna as lagoas de estabilização uma excelente opção para o tratamento de águas residuárias, na região nordeste do Brasil.

1.1. Classificação das lagoas de estabilização

A classificação das lagoas de estabilização é baseada na predominância relativa de dois processos bioquímicos que contribuem para a estabilização do material orgânico.

Estes processos são a oxidação aeróbia e a digestão anaeróbia (Arthur, 1983). A predominância de condições aeróbias ou anaeróbias é determinada pela carga orgânica aplicada ao reator biológico. Assim, as lagoas de estabilização são classificadas em:

- Lagoas anaeróbias

Projetadas para operar com altas cargas orgânicas, recebendo águas residuárias brutas. Cargas volumétricas (λ, v) entre 100 e 400 g DBO₅/m³d mantêm o estado de anaerobiose em toda a coluna líquida do reator (Mara, 1976). As lagoas anaeróbias apresentam profundidades entre 2 e 5 metros e o tratamento de água residuária se dá pela atuação do processo de sedimentação e digestão anaeróbia. Para o bom funcionamento destes reatores, é recomendado um pH próximo do neutro e temperatura superior a 15°C (Ibid.).

- Lagoas facultativas

Podem ser primárias ou secundárias, onde as primeiras recebem águas residuárias brutas e as últimas os efluentes de reatores de tratamento primário (Silva, 1982). As lagoas facultativas apresentam ao longo da coluna líquida, uma camada aeróbia, na parte superior, e uma anaeróbia na parte inferior (de Oliveira, 1990).

A camada aeróbia tem profundidade entre 30 e 50 cm, sendo propícia ao desenvolvimento de algas, pela presença de nutrientes e luz solar, que possibilitam a atividade fotossintética, e esta supre a camada

com oxigênio. Na camada inferior, a ausência de luz limita o desenvolvimento do fitoplâncton, tornando a mesma anaeróbia. Nas lagoas facultativas, uma relação mutualística entre algas e bactérias, principalmente nas horas iluminadas do dia, faz com que haja a degradação da matéria orgânica (Mara, 1976). As lagoas facultativas são projetadas com profundidade variando entre um e dois metros, ocupando áreas maiores que as anaeróbias (Mara e Pearson, 1986)

Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são projetadas tomando-se como principal parâmetro o tempo de detenção hidráulica. São destinadas à remoção dos microorganismos patogênicos contidos no esgoto, sendo dimensionadas com pequenas profundidades (entre um e dois metros), que favorecem a ação da radiação solar, provocando intensa atividade fotossintética. Isto faz com que os valores de pH e oxigênio dissolvido sejam elevados, promovendo a remoção de coliformes fecais e nematóides. Em geral, as lagoas de maturação recebem efluentes de lagoas facultativas ou mesmo de sistemas convencionais de tratamento de esgotos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. O sistema de lagoas de estabilização estudado

Foi investigado um sistema de lagoas de estabilização em série, composto por uma lagoa anaeróbia (A_1), seguida de uma lagoa facultativa secundária (F_1) e três lagoas de maturação (M_1 , M_2 , M_3) (Figura 1). Esta ETE é mantida e operada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, sendo destinada ao tratamento das águas residuárias do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú e de conjuntos habitacionais em áreas próximas.

O projeto foi elaborado por Silva (1987), sendo a caracterização do afluente apresentada no Quadro 1.

O sistema em operação foi projetado para um tempo de detenção hidráulica de 28 dias, ocupando uma área de cerca de 84

hectares de espelho d'água, sendo à época do estudo, o maior sistema de lagoas existente no Brasil. Os diques são de terra compactada, sendo os taludes 2:1. O quadro 2 apresenta as características físicas das lagoas do sistema e o quadro 3 as características operacionais da série, conforme Silva (1987).

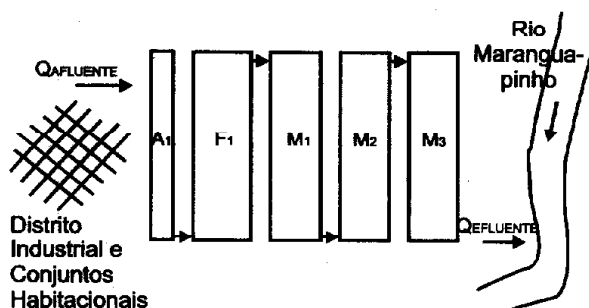


Figura 1 - Fluxograma de alimentação do sistema de lagoas de estabilização do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú.

Parâmetro	Unidade	Valor
Vazão	m ³ /dia	45.200
	l/s	523
DBO ₅	mg/l	610
DQO	mg/l	1464
pH	Unidades	7,7
Coliformes Fecais	CF/100ml	3,1X10 ⁷

Quadro 1 - Características do afluente do sistema de lagoas de estabilização do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú: parâmetros do projeto

2.2 Monitoramento da estação de tratamento de esgotos

O sistema de lagoas de estabilização (ETE do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú) foi monitorado durante o período de setembro de 1992 a setembro 1994. Foram coletadas amostras de esgoto bruto afluente e efluente do sistema (efluente da lagoa M_3), entre 9 e 11 horas da manhã, sendo o esgoto bruto analisado a cada quatro meses e o esgoto tratado uma vez por mês, perfazendo um total de seis amostras de esgoto bruto e vinte e quatro amostras de esgoto tratado. A coleta e a análise das amostras foram realizadas pelo laboratório de análise de água e esgoto da

Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE.

Os parâmetros determinados pelo monitoramento de rotina na análise do afluente e efluente do sistema foram: DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química do Oxigênio), sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, pH e coliformes totais. As determinações foram feitas de acordo com as recomendações descritas em APHA (1989).

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O esgoto bruto apresentou características semelhantes às previstas no projeto da ETE, conforme Silva (1987), estando as informações do monitoramento contidas no quadro 4. Durante a coleta das amostras foi verificado odor acentuado, proveniente da lagoa anaeróbia, sendo isto um fenômeno indesejável. A aplicação de elevada carga orgânica volumétrica e a má distribuição de sólidos no interior do reator, podem ter contribuído para a formação de sulfetos e conseqüente produção de odor. O comportamento do sistema de lagoas de estabilização, em relação aos parâmetros analisados é apresentado a seguir.

Demanda Bioquímica de Oxigênio

O sistema de lagoas apresentou uma DBO₅ média final de 17 mg/l, resultando numa eficiência de 96,9%, e concordando com as proposições de Marais (1974), onde sistemas de lagoas em série apresentam eficiência superior ao emprego de uma lagoa única com mesma área. A eficiência observada esteve de acordo com o que foi previsto inicialmente no projeto de Silva (1987), baseado em estudos do próprio autor em 1982. Os valores relativos à DBO bruta e tratada, bem como os valores dos outros parâmetros analisados são apresentados no quadro 4.

Demanda Química de Oxigênio

A DQO média ao final da série foi de 73 mg/l, correspondendo a uma eficiência de remoção de 89,6%. Esta eficiência foi semelhante às relatadas por Silva e Mara (1979)

e Silva (1982). Apesar de não terem sido analisados os efluentes das lagoas individualmente, cabe ressaltar que a DQO, a DBO, os sólidos sedimentáveis e os sólidos suspensos foram removidos principalmente na lagoa anaeróbia (Mara, 1976; de Oliveira, 1990; Araújo, 1993; da Silva, 1994), o que valoriza o emprego deste tipo de reator em série de lagoas.

Sólidos sedimentáveis

A concentração média de sólidos sedimentáveis no efluente final da ETE foi de 0,04 ml/l, sendo igual a zero em cerca de 20 % das amostras analisadas. Os sólidos sedimentáveis foram removidos principalmente na lagoa anaeróbia, devido à ação gravitacional que promove a deposição destes sólidos no fundo do reator, sendo a partir daí passíveis de degradação biológica anaeróbia (de Oliveira, 1990). A eficiência verificada foi de 99,5%

Sólidos suspensos

O efluente da série de lagoas apresentou uma concentração média de 80mg/l de sólidos suspensos, valor semelhante aos verificados por Araújo (1993) e da Silva (1994), que estudaram sistemas de lagoas de estabilização com configurações variadas. Estes setores *observam ainda que os sólidos suspensos contidos em efluentes de lagoas são resultantes da presença de algas*. Tal como os sólidos sedimentáveis, os sólidos suspensos foram removidos principalmente na lagoa anaeróbia, devido a sedimentação (Ibid.). A eficiência verificada foi de 74,1%.

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH apresentou crescimento em relação ao verificado no esgoto bruto (7,9 unidades), sendo o valor médio no efluente de 9,2. A elevação dos valores de pH em lagoas de estabilização está ligada à atividade fotossintética das algas (Araújo, 1993; da Silva, 1994). Durante o período de maior atividade fotossintética, as algas presentes nas lagoas facultativas e de maturação consomem mais rapidamente o CO₂ da massa líquida, a partir da dissociação de íons bicarbonato, liberando íons

hidroxila para a massa líquida, elevando o pH da lagoa (Mara e Pearson, 1986).

Coliformes totais

A concentração média de coliformes totais no efluente da ETE foi de 1900 CT/ 100 ml, indicando uma eficiência de 99,9992%. A queda de mais de cinco "logs" observada no sistema foi devido ao tempo de detenção hidráulica elevado (28 dias), à radiação solar e pH elevado. Conforme Silva (1982), a remoção de bactérias coliformes, ovos de nematóides e outros microorganismos patogênicos é observada principalmente nas lagoas de maturação.

O comportamento da ETE do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú está representado no quadro 4, conforme os parâmetros analisados durante o monitoramento:

4. POSSIBILIDADES DE REUSO

O efluente do sistema de lagoas de estabilização em série do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanaú é passível de reutilização, sendo consideradas as opções a seguir.

Reuso para indústrias

De acordo com as concepções do projeto de Silva (1987), as indústrias do Distrito contribuem em cerca de 42% da vazão total afluente à ETE (em torno de 18.984 m³/dia). Considerando-se uma relação esgoto/água consumida produzido de 0,8, conforme critérios de projetos largamente empregados, é possível a redistribuição de 23.730 m³/dia da vazão total efluente para as indústrias do distrito através de reservatório elevado, na própria área onde se encontra a ETE. Isto possibilitará o consumo de água tratada distribuída pela CAGECE apenas nas operações unitárias do processo industrial onde é requerido um elevado padrão de qualidade de água. Assim, a vazão a ser redistribuída (274,7l/s) poderá implicar em economia de quase 100% no consumo de água de algumas indústrias, sendo necessário no entanto, investimento para a armazenagem e

implantação de rede hidráulica para a redistribuição desta.

Reuso na agricultura

O efluente da ETE apresentou uma DBO₅ de 17 mg/l e um teor de coliformes totais de 1.900 células por 100 ml. Esta água é passível de ser utilizada em irrigação irrestrita de acordo com WHO (1989), sendo compatível com o padrão de qualidade de água "Classe 2", conforme apresentado por Mota (1988).

A vazão efluente de 21.470 m³/dia (descontado o volume a ser reutilizado pelas indústrias) deve ser prioritariamente utilizada na irrigação, principalmente pelo fato de a mesma conter razoáveis teores de nutrientes (nitrogênio e fósforo), diminuindo assim a demanda de fertilizantes químicos necessários ao desenvolvimento das culturas agrícolas. A vazão anual (7.836.550 m³) permitirá a irrigação de cerca de 392 ha, tendo isto sido proposto em trabalho anterior, desenvolvido por Mota e Santaella (1994). A irrigação utilizando o efluente tratado poderá ser desenvolvida na área existente do outro lado do rio Maranguapinho (corpo hídrico receptor) ou ser bombeada para uma área mais distante e adequada à atividade agrícola.

Reuso na aquicultura

As lagoas de estabilização permitem a sua utilização para a produção de peixes e aves aquáticas (Silva e Mara, 1979). Do sistema existente, as duas lagoas de maturação finais (M₂ e M₃) poderão ser utilizadas para a produção de peixes que se desenvolvem em cativeiro, tais como carpas e tilápias (Ibid.). Silva (1987) relata que na China foi possível a produção de 4,5 a 6,0 toneladas de peixe por hectare em lagoas de estabilização tratando esgotos industriais orgânicos.

A lagoa facultativa secundária (F₁) e a de maturação primária (M₁) poderão ser utilizadas para a criação de patos da espécie denominada Marreco de Pequim, sendo esta bastante disseminada na região nordeste do Brasil.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do exposto pode-se concluir e recomendar o seguinte:

a) o efluente obtido possui características físico-químicas microbiológicas que permitem a sua reutilização, para fins industriais e produção de alimentos;

b) outras investigações devem ser feitas para uma melhor caracterização do efluente a ser utilizado; através de outros parâmetros analíticos, como coliformes fecais, ovos de nematóides, dureza, oxigênio dissolvido, nutrientes e metais pesados,

c) antes de ser feito reuso para irrigação, deve ser realizado um estudo cuidadoso sobre a salinidade do efluente e do solo onde este será empregado, bem como buscar uma cultura compatível com o uso desta água na agricultura;

d) o pH elevado e a presença de sólidos suspensos no efluente tratado podem ser objetáveis ao uso deste na irrigação e principalmente na indústria. É necessária

portanto, a correção destas características, podendo-se empregar macrófitas aquáticas na lagoa M₃, junto à região de efluência ou construir-se filtros anaeróbios de fluxo ascendente para tratamento do efluente. As duas alternativas são de baixo custo, melhorando a qualidade da água em relação aos parâmetros referidos;

e) deve ser feita a recirculação de vazão do efluente da lagoa de maturação primária (M₁) na razão de 1:6 e implantação de uma cortina vegetal com o fim de minimizar a exalação de mau cheiro, proveniente da lagoa anaeróbia (A₁);

f) deve ser feito um estudo acurado, objetivando um balanço hídrico do sistema, que permita um cálculo mais correto do volume de água disponível para reuso, antes da viabilização deste objetivo;

g) por fim, toda e qualquer proposta de reuso de águas residuárias deve ser acompanhado de um estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental que orientem a sustentabilidade do programa de reuso.

Lagoa	Dimensões a meia altura		Áreas		Volume da Lagoa (m ³)	Profundidade (m)
	Comprimento (m)	Largura (m)	Meia Altura (ha)	Fundo (ha)		
A1	1055,00	30,00	3,165	2,303	126.600,00	4
F1	1055,00	190,00	20,045	19,549	400.900,00	2
M1	1055,00	158,00	16,669	16,306	250.035,00	1,5
M2	1055,00	158,00	16,669	16,306	250.035,00	1,5
M3	1055,00	158,00	16,669	16,306	250.035,00	1,5
Total	-	-	73,217	70,77	1.277.605,00	-

Quadro 2 - Características físicas das lagoas

Lagoa	Vazão m ³ /d Comprimento (m)	Tempo de detenção hidráulica (dias) Largura(m)	Carga Orgânica Aplicada ¹	
			Volumétrica (gDBO ₅ /M ³ .D)	Superficial ² (Kg DBO ₅ /ha.d)
A1	45.200,00	2,8	218	8712
F1	45.200,00	8,7	14	280
M1	45.200,00	5,5	18	266
M2	45.200,00	5,5	8	122
M3	45.200,00	5,5	5	68

Quadro 3 - Características operacionais da série

¹Baseada na DBO₅ de 610 mg/l, de acordo com as concepções do projeto (Silva, 1987)

²Carga superficial aplicada à área da lagoa a meia profundidade

PARÂMETRO	Esgoto bruto	Esgoto tratado	Eficiência de remoção (%)	Conceito
DBO ₅ (mg/l)	548	17	96,9	Muito bom
DQO (mg/l)	700	73	89,6	Muito bom
Sólidos sedimentáveis	8,0	0,04	99,5	Excelente
Sólidos suspensos (mg/l)	309	80	74,1	Bom
pH (unidades)	7,9	9,2	-	-
Coliformes totais (CT/100ml)	2.4x10 ⁵	1,9x10 ³ 99,9992	99,9992	Muito bom

Quadro 4 - Resultados dos parâmetros analisados no afluente e efluente do sistema de lagoas de estabilização do Distrito Industrial de Fortaleza/Maracanú

6. Referências bibliográficas

- APHA (1989). **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 17 edition, American Public Health Association
- ARAÚJO, A. L. C. (1993). **Comportamento das formas de fósforo em sistema de lagoas de estabilização, sob diferentes configurações, em escala -piloto, tratando esgoto doméstico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba.
- ARTUR, J. P. (1983). **Notes on the design and operation of waste stabilization pond in warm climates of developing countries**. Technical paper number 7. Washington: World Bank.
- BRAILE, P. M. e CAVALCANTI, J. E. W. A. (1979). **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. CETESB, São Paulo.
- Da SILVA, F. J. A. (1994). **Estudo do ciclo do nitrogênio em lagoas de estabilização tratando esgotos domésticos no nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba.
- De OLIVEIRA, R. (1990). **The performance of Deep waste stabilization Ponds in Northeast Brazil**. Ph. D. Thesis, University of Leeds, UK.
- ELLIS, K.V. (1983). **Stabilization Ponds: Design and Operation**. *Critical reviews in environmental control*, 13 (2), pp. 89-102.
- MARA, D. D. (1976). **Sewage treatments in hot climates**. Chichester: John Wiley & Sons. London, UK.
- MARA, D. D. e PEARSON, N.W. (1986). **Artificial Freshwater Environment: waste stabilization ponds**. In: **Biotechnology - a comprehensive treatise**, Vol. 8, Chapter 4. (Ed. N. J. Renm and G. Reed). Weinheim: Verlagsgesellschaft; pp. 177-205.
- MARAI, G. V. R. (1974). **Faecal bacterial kinetics in the stabilization ponds**. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 100 (EE1), pp. 119-139.
- MOTA, E. S. (1988) **Preservação de recursos hídricos**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental -ABES, Rio de Janeiro.
- MOTA, E. S. e SANTAELLA, S. T. (1994). **Utilização de esgoto tratado em irrigação. Propostas para o Ceará**. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, pp. 119-28, Fortaleza, Ceará.
- SILVA, S. A. e MARA, D. D. (1979). **Tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental — ABES, Rio de Janeiro.
- SILVA, S. A. (1982). **On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in northeast Brazil**. Ph.D. Thesis, University of Dundee, UK.

SILVA, S. A. (1987). Sistema de Tratamento Integrado de Águas Residuárias Industriais e Domésticas. **Projeto Técnico da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE**, Fortaleza, Ceará.

WHO, (1989). **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**. Technical Report Series 778. Geneva. World Health Organization.