





## Agricultural use of sewage treated by a stabilization ponds system: experiences of PROSAB in Lins – SP/Brazil

### Abstract

A Pilot Plant to treat the effluent from SABESP's Wastewater Treatment Plant (Stabilization Pond System) located at Lins was built within a six-hectare area adjacent to the Treatment Plant. The study focused on agricultural applications of the final treated effluent. Additional unit operations for wastewater treatment were constructed – namely hypochlorite disinfection, UV light disinfection and ozonation units. The final effluent from the Pilot Plant was applied in crop irrigation – namely coffee, corn and bean crops and the feeding system was by drop irrigation. Additionally, a fraction of the final treated effluent fed a hydroponic system installed in vases, in which chrysanthemum and *Gypsophila* were cultivated. A third feeding line supplied a fish tank in which *Oreochromis Niloticus* were grown. A number of physical, chemical and biological variables were utilized for quality control of effluent streams at the various treatment stages, to monitor the cultivated crops and the soil, as well as agricultural parameters to identify growth characteristics. For all the cases under study there were conventional mode crops in parallel, acting as controls or references. The results obtained showed that the pond effluent, besides the hydraulic capacity itself, contained nutrients that are adequate for agricultural purposes, with significant savings associated. Additionally, such applications in irrigation avoid the eutrophication of natural water bodies.

### Key words

*Crop irrigation. Disinfection. Pisciculture. Sanitary wastewater.  
Stabilization ponds.*

## Introdução

A escassez de água e o avanço tecnológico dos processos de tratamento que ocorreram em anos recentes têm conduzido a intensos estudos na área de reuso de águas utilizadas para abastecimento público. A finalidade do reaproveitamento define o grau de tratamento necessário e as práticas mais comuns englobam as áreas urbanas, industriais e agrícolas (GONÇALVES, 2003). O reuso urbano de água pode ser exemplificado pela lavagem de ruas e outros pavimentos e irrigação de gramados; na área industrial, seu aproveitamento se dá em sistemas de refrigeração e lavagem de pisos, equipamentos e outros. Pode ser percebida forte tendência para a prática do reuso industrial de água na região metropolitana de São Paulo, a partir dos esgotos domésticos tratados em cinco estações de grande porte, notadamente na região do ABC paulista.

O uso agrícola de esgoto tratado, embora constitua recurso que possa estar mais associado à vocação dos municípios interioranos, possui potencialidades para ser explorado também na região metropolitana. Afinal, a chamada prática do reuso indireto não planejado, designação dada às descargas de esgotos em águas naturais utilizadas para irrigação, incluindo hortaliças no chamado ‘cinturão verde’, pode representar riscos à saúde mais significativos que os eventuais decorrentes de um sistema planejado. Em estudo similar, os pesquisadores observaram que o nível de concentração de coliformes fecais presentes em alface de feira livre municipal era mais elevado que o de cultura irrigada diretamente com efluente de sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, sem qualquer processo de desinfecção complementar (BASTOS, 2003).

A presente pesquisa integrou o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), mantido há mais de sete anos pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Caixa Econômica Federal (CEF) e Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). As atividades foram desenvolvidas pela Universidade de São Paulo (USP), representada pela Faculdade de Saúde Pública, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, em parceria com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

## 1. Metodologia

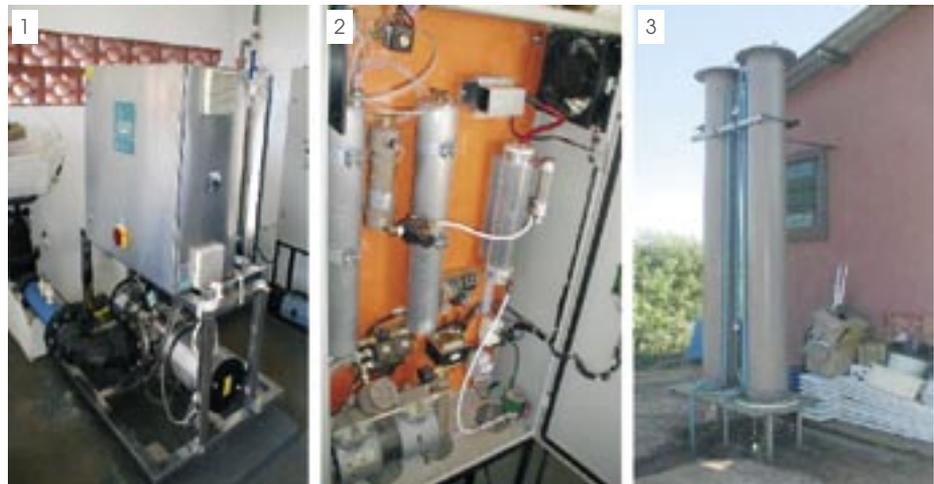
Os estudos foram desenvolvidos no Campo Experimental de Uso Agrícola de Esgoto Tratado, construído em terreno adjacente ao sistema de tratamento de esgotos do Município de Lins – SP. Na Figura 1, mostra-se uma fotografia das lagoas implantadas para o atendimento de cerca de 60 mil habitantes. É denominado sistema australiano, constituído de três módulos, operando em paralelo com lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas fotossintéticas. As lagoas anaeróbias possuem 4 metros (m) de profundidade útil e retêm os esgotos durante cinco dias, enquanto as facultativas apresentam profundidade útil de 1,7 m, tempo de retenção hidráulica aproximadamente dez dias e taxa de aplicação de 170 kg DBO/ha x d. Os objetivos principais do tratamento são a redução da carga orgânica e a inativação dos microrganismos patogênicos dos esgotos.



**Figura 1** – Vista do sistema de lagoas de estabilização do município de Lins – SP.  
Crédito: Elaboração própria.

Parte do efluente da lagoa facultativa posicionada na cota mais alta do terreno é derivada para o campo experimental para alimentação das unidades-piloto de desinfecção e das unidades de aplicação agrícola dos esgotos tratados.

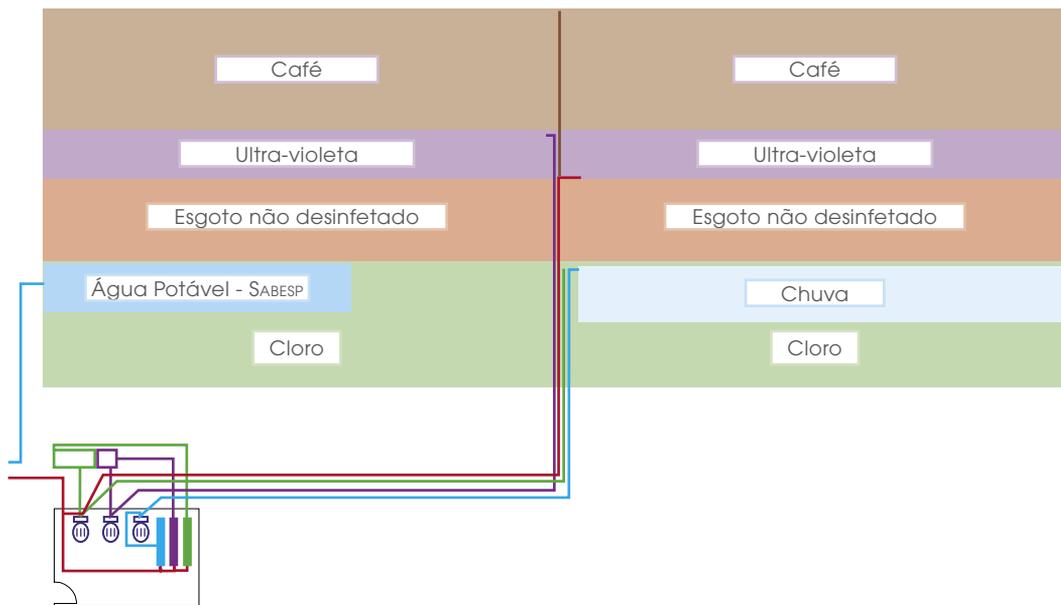
Foram construídos três sistemas de desinfecção: um sistema de dosagem e tanque de contato para a aplicação de hipoclorito de sódio, um de aplicação de radiação ultravioleta (UV) de lâmpadas imersas de fluxo contínuo, posteriormente substituído por um sistema com lâmpadas imersas e em escala de laboratório para aprofundamento dos estudos, e um de ozonização, com geração de ozônio a partir do ar e duas colunas de contato operando em paralelo. (Figura 2)



**Figura 2 - Equipamentos de desinfecção:**  
1. ultravioleta; 2. ozonizador; 3. colunas de contato.

Crédito: Elaboração própria.

Os esgotos não desinfetados e os desinfetados por cloração ou radiação ultravioleta eram bombeados para o campo de fertirrigação, onde foi mantido o delineamento experimental esquematizado na Figura 3:



**Figura 3 – Delineamento experimental da fertirrigação.**

Fonte: Elaboração própria.

O cafeeiro é uma cultura perene e, nas demais parcelas indicadas na Figura 3, foram cultivadas três safras de milho e duas de girassol. Foi adotado o sistema de irrigação por gotejamento, sistema que possui filtro de areia grossa. Os efluentes desinfetados por ozonização alimentaram o sistema de hidroponia em substrato sólido (sacos de areia), em que foram cultivadas flores. Uma parcela era irrigada com os esgotos desinfetados, enquanto a outra recebia água com solução nutriente convencional. (Figura 4).



**Figura 4 – Sistema de hidroponia em vasos.**

Crédito: Elaboração própria.

Finalmente, uma outra parcela de efluentes da lagoa facultativa alimentou um tanque de piscicultura, recebendo tratamento físico-químico prévio para correção do nível de acidez (pH) ou remoção de amônia. Foram cultivadas ‘tilápias do Nilo’, mantendo-se controle em paralelo alimentado com água limpa e ração comercial. (Figura 5).



**Figura 5 – Tanque de piscicultura alimentado com efluente da lagoa facultativa.**

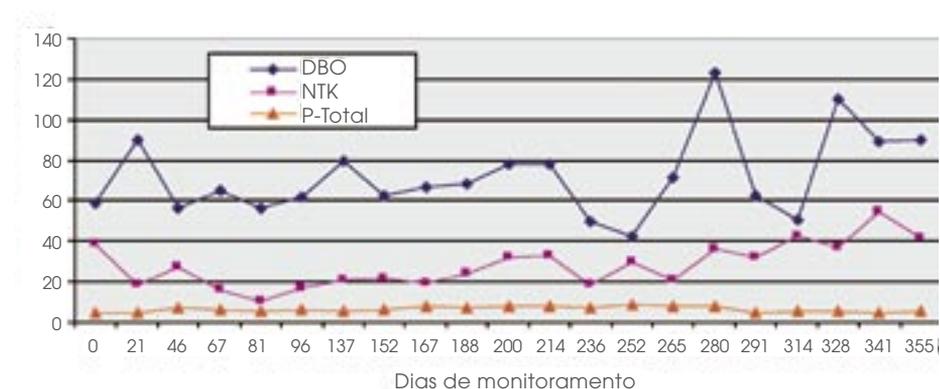
Crédito: Elaboração própria.

Todos os ensaios foram realizados no campo experimental, em Lins – SP, e as análises de efluentes, solos e plantas nos laboratórios das unidades da USP envolvidas no projeto.

## 2. Resultados

### 2.1. Sistema de lagoas de estabilização

Na Figura 6, são mostradas algumas características dos efluentes da lagoa facultativa.



**Figura 6 – DBO, nitrogênio e fósforo total nos efluentes da lagoa facultativa.**

Fonte: Elaboração própria.

Pode ser observado que a concentração destes constituintes nos esgotos tratados é excessiva, dificultando o atendimento à legislação que dispõe sobre o lançamento em corpos d'água. Por outro lado, a presença de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo nos efluentes é interessante do ponto de vista agrônômico. A concentração da bactéria *Echerichia coli* (*E. coli*), principal indicador da contaminação hídrica por esgoto sanitário, manteve-se, durante o período do estudo, na faixa compreendida entre  $10^4$  e  $10^6$  NMP/100mL, indicando a necessidade de desinfecção complementar dos esgotos tanto para lançamento em corpos d'água quanto para fertirrigação.

## 2.2. Desinfecção por hipocloritação

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da desinfecção com hipoclorito de sódio, aplicado ao efluente da lagoa facultativa, em ensaios realizados no tanque de contato, mostrado na Figura 7.

**Tabela 1 – Resultados dos ensaios de cloração.**

Dosagem de cloro (mg/L)	Tempo de contato (min)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Remoção (-Log N/N <sub>0</sub> )
9,7	00	$1,6 \times 10^5$	
	10	< 1	5,2
	20	< 1	5,2
	30	< 1	5,2
	40	< 1	5,2
10,5	00	$3,0 \times 10^5$	
	10	< 1	5,5
	20	< 1	5,5
	30	< 1	5,5
11,2	00	$1,0 \times 10^4$	
	15	<1	4,0
	30	<1	4,0
	40	<1	4,0
15,4	00	$4,0 \times 10^4$	
	10	<1	4,6
	20	<1	4,6
	30	<1	4,6
	40	<1	4,6

Obs.: Miligramas por litro (mg/L); minutos (min).

Fonte: Elaboração própria.



**Figura 7 - Tanque de contato de cloro.**

Crédito: Elaboração própria.

Nesses ensaios, variou-se o tempo de contato de cloro até 40 minutos e a dosagem de hipoclorito de sódio até cerca de 15 mg/L. A concentração de cloro demonstrou maior influência que o tempo de contato, obtendo-se inativação praticamente completa de *E. coli* para dosagens superiores a 10 mg/L e tempo de contato acima de dez minutos. Dosagens inferiores a 10 mg/L resultaram em eficiências menores na inativação de coliformes, mesmo com a manutenção de tempos de contato elevados. Algumas amostras de efluentes com cloro residual foram analisadas por cromatografia, não tendo sido encontrados subprodutos tóxicos como trihalometanos e ácidos haloacéticos em concentrações acima dos padrões de potabilidade.

### 2.3. Desinfecção por radiação ultravioleta

Na Tabela 2, apresenta-se um resultado típico de ensaio de desinfecção por radiação UV do efluente da lagoa facultativa, em reator de fluxo contínuo e lâmpada emersa. (Figura 8).

**Tabela 2 - Resultado de ensaio de desinfecção.**

Dosagem (mWs/cm <sup>2</sup> )	Tempo de contato (s)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
0	0	1,6 x 10 <sup>5</sup>
30,5	30	3,2 x 10 <sup>3</sup>
61	60	5,2 x 10 <sup>2</sup>
91,5	90	2,1 x 10 <sup>2</sup>
122		4,1 x 10 <sup>2</sup>

Obs.: segundos (s).

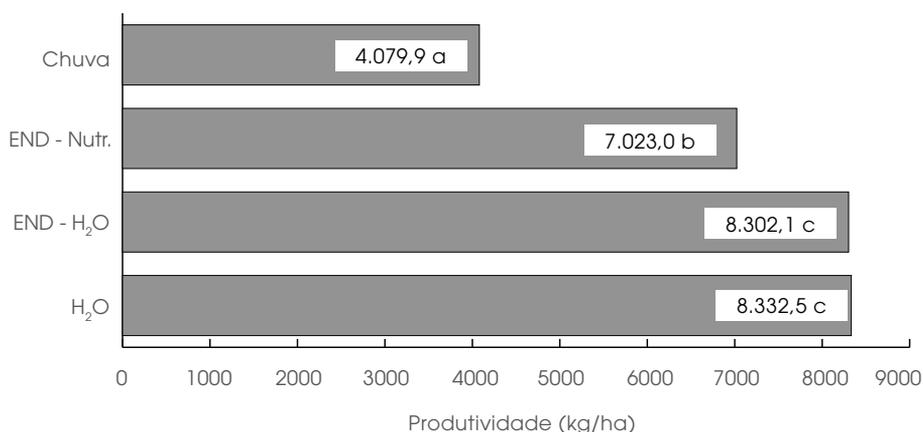
Fonte: Elaboração própria.





Observa-se que o melhor resultado, 4.352 kg/ha, foi obtido em parcela irrigada com ‘esgoto não desinfetado’ (END) que recebeu adubação complementar nitrogenada. Isso sugere que a adubação de cobertura pode ser eliminada; a de plantio, não.

Na Figura 10, são apresentados os resultados da produção de grãos de milho da mesma safra.



**Figura 10 – Resultados da produção de grãos de milho (2ª safra, 2002).**

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da produção de grãos de milho corroboram os anteriores. Nota-se que, enquanto se usou esgoto como fonte de água e nutrientes, a produção (7.023 kg/ha) ficou um pouco abaixo da parcela em que o esgoto foi utilizado como fonte de água, mas com adubação complementar (8.302 kg/ha) que, por sua vez, se aproximou do resultado obtido na irrigação convencional (8.332 kg/ha). Apesar disso, a diferença não é muito grande e o uso do esgoto tratado representa uma economia substancial de água e fertilizantes, além de evitar a poluição das águas naturais.

## 2.7. Cultura de girassol

Na Figura 11, mostram-se os resultados do parâmetro massa seca da parte aérea da segunda cultura de girassol 69 dias após a germinação. Nesse experimento, a avaliação da produção de grãos foi prejudicada por intenso ataque de aves. Puderam ser observadas excelentes condições de crescimento das plantas em todas as parcelas e que as parcelas irrigadas com esgotos apresentaram crescimento superior às correspondentes ir-



## 2.9. Resultados do sistema de hidroponia

Nos experimentos de hidroponia em vasos, foram comparados os resultados do sistema irrigado com água contendo solução nutriente completa aos do sistema irrigado com esgoto ozonizado e solução nutriente reduzida.

## 2.10. Cultura de *Gypsophila paniculata* (mosquitinho)

Na Tabela 4, são apresentados os resultados de massa seca da inflorescência (em kg).

**Tabela 4 – Resultados de massa seca da inflorescência (g/planta), *Gypsophila paniculata*.**

Tratamentos	Repetições									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
Água + nutr	20	22	20	23	22	24	23	17	21	21,4 a
Esgoto + nutr	16	19	14	14	13	7	16	17	12	14,2 b

Obs.: Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria.

O tratamento com água apresentou resultados superiores aos do tratamento com efluente, com uma inflorescência mais robusta. Isso indica a necessidade de um balanceamento da solução fertilizante para melhorar os resultados com a utilização de efluente como solvente da solução fertilizante. Também podem ser feitos estudos com mistura de água potável e efluente em diferentes proporções, a fim de verificar se há melhora nos resultados.

## 2.11. Crisântemos

Os resultados de massa seca da parte aérea dos crisântemos são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Resultados de massa seca da parte aérea (g/planta), para crisântemos.**

Tratamentos	Repetições									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
Água + nutr	90	82	99	64	42	51	80	66	130	78,2
Esg + nutr	45	53	57	69	56	80	66	62	54	60,2

Obs.: diferenças não significativas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos, pela análise de variância (teste F). De forma geral, não foram observadas diferenças substanciais entre os tratamentos para a cultura do crisântemo. Ambas as espécies produziram flores com padrão adequado à comercialização.

Na Figura 13, mostra-se uma fotografia das culturas de *Gypsophila* e de crisântemos.



**Figura 13 – Fotografia das culturas hidropônicas de *Gypsophila* e de crisântemos.**

Crédito: Elaboração própria.

## 2.12. Resultados do sistema de piscicultura

O sistema de piscicultura com tilápias do Nilo demonstrou que o ganho em peso dos alevinos, durante um período de 100 dias, é 30% menor quando cultivados com efluente de lagoa facultativa, sem qualquer adição de ração, em comparação a um controle constituído de tanque alimentado com água corrente e ração comercial, mantendo-se a densidade de sete alevinos e renovação de água correspondente a 10% do volume diário do tanque. Em um episódio de amostragem e análises bacteriológicas por metro cúbico (alevinos/m<sup>3</sup>) os músculos dos peixes apresentaram contaminação com *E. coli* em densidade de 10<sup>3</sup> NMP/100mL, tendo-se identificado também a presença de *Salmonella sp.*

## Conclusões

- O sistema de tratamento de esgotos constituído de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, nas condições do estudo, apresenta dificuldades no atendimento à legislação, de lançamento em corpos





