

# LAGOAS DE OXIDAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE COLUNAS BAROMÉTRICAS

MARIO KATO \*

ARISTIDES A. ROCHA \*\*

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado com a finalidade precípua de trazer algumas informações sobre o tratamento de água das colunas barométricas das usinas de cana de açúcar, quando se utilizam lagoas de oxidação.

Em face dos resultados obtidos, verifica-se a possibilidade desse tipo de tratamento, desde que sejam observados certos requisitos abordados nesta pesquisa.

## CONCLUSÕES

1. Nas experiências efetuadas no laboratório (com 7 e 14 de retenção), obteve-se reduções de  $DBO_{5d}$  20°C da ordem de 92%.

2. Nessas experiências, a adição ao despejo de uma cultura de algas, de sais nutrientes (como o P e N) e, a aeração artificial produziram uma maior eficiência do processo de estabilização da mesma.

3. A eficiência de redução em termos de  $DBO_{5d}$  20°C foi de 30% na lagoa da usina Santa Adélia (11 dias de retenção) e 86% nas lagoas em série da usina Cresciumal (29 dias de retenção).

## RECOMENDAÇÕES

1. Através dos dados obtidos nas lagoas observadas e nas experiências efetuadas no la-

boratório, pode-se preconizar a utilização das lagoas de oxidação como um processo adequado para tratamento das águas provenientes das colunas barométricas das usinas de açúcar.

2. Tendo em vista a melhor eficiência obtida na utilização de duas lagoas em série (a primeira parcialmente anaeróbica e a segunda aeróbica) verifica-se que a construção de lagoas em série, pode ter uma boa aplicação na estabilização dos resíduos líquidos da coluna barométrica.

3. Tendo em vista que as lagoas existentes respectivamente em Jaboticabal e Leme, foram construídas de maneira empírica (aproveitando-se depressões naturais), onde a profundidade é variável, influenciando consideravelmente no processo de estabilização, recomenda-se que, no projeto de construção de lagoas para tratamento de efluentes da coluna barométrica, sejam obedecidas as normas convencionais tais como:

- a) verificação do tempo de retenção, profundidade e outras;
- b) dosagem adequada de nutrientes em função da DBO;
- c) limpeza prévia do terreno para evitar a demanda bentônica de oxigênio.

4. Para evitar a proliferação de mosquitos e de caramujos (planorhídeos), recomenda-se a manutenção e limpeza periódica das margens.

5. Tendo em vista os dados obtidos nos levantamentos sanitários, para futuros estudos

\* Engenheiro da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB.

\*\* Biologista da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB e Professor da Faculdade de Saúde Pública da U.S.P.

recomenda-se a adoção dos seguintes valores de volume de água a serem utilizados nas colunas barométricas — 10.000 litros por tonelada de cana para sistema de condensador central e 20.000 litros por tonelada de cana para sistema de condensadores individuais.

\* \* \*

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo se constitui no maior produtor de açúcar do Brasil pois, com cerca de 93 usinas, na safra 68/69 atingiu a 33.547.352 sacas, perfazendo 49% do total do país. (1)

Quando lançada aos corpos receptores, a grande quantidade de água utilizada por essas indústrias, altera as condições bio-ecológicas existentes, o que pode ser observado pela variação da qualidade das águas nos períodos da safra e entresafra. Tal fato por exemplo, se verifica no rio Piracicaba.

Em uma usina de açúcar, os resíduos líquidos principais, são constituídos de : restilo, águas amoniacais e água das colunas barométricas.

O resíduo da destilação do melaço fermentado para a produção de álcool, constitui o restilo, que recebe denominações regionais, como: garapão, vinhoto, vinhaça e outros. Estudos efetuados na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, concluíram que ocorre uma sensível melhoria da qualidade do solo, quanto o restilo é utilizado como fertilizante.

Os condensados do evaporado da garapa tratada, podem ser usados em diversas fases da industrialização da cana de açúcar, tais como, na moenda, na diluição de méis, na lavagem de filtros, etc. No caso de haver sobras, é possível ainda, receberem o mesmo destino do restilo. Por analogia como o condensado das indústrias açucareiras que utilizam a beterraba como matéria prima e, cujas características devido ao amoníaco, são alcalinas, estes condensados são imprópriamente chamados de águas amoniacais. No entanto, nas usinas que utilizam a cana de açúcar, o condensado é de caráter ácido, em virtude dos ácidos orgânicos presentes.

Alguns aspectos da água das colunas barométricas e do tratamento do resíduo, serão abordados a seguir.

## 2. GENERALIDADES

Em uma indústria, os evaporadores de múltiplo efeito e os cozedores, trabalham a vácuo, havendo a necessidade portanto, de um equipamento para sua obtenção (2).

Não dispondo as instalações, de água fria em quantidade suficiente, a água quente que sai da coluna, pode ser bombeada a um tanque resfriado e, deste, através de bombas retornar ao condensador, completando o ciclo (figura 1).

As instalações do sistema de vácuo, podem ser dispostas de diversas maneiras e, dependendo das quais haverá necessidade de quantidade diferentes de água. Entre os sistemas mais usuais tem-se:

- a) condensador central e bomba de vácuo, onde há um condensador e uma bomba de vácuo para toda a indústria;
- b) condensador e bomba de vácuo individual, onde cada corpo que necessita de vácuo é acoplado a um condensador e a uma bomba de vácuo;
- c) condensadores individuais e bomba central de vácuo, onde são instalados tantos condensadores quantos foram necessários, todos conectados a uma só bomba central de vácuo.

Os tipos mais comuns de condensadores das usinas de cana de açúcar estão representados nas figuras 2, 3 e 4.

\* \* \*

A água necessária aos condensadores, apresenta valores médios em torno de 10.000 litros de água por tonelada de cana e, valor médio de 20.000 l de água por tonelada de cana, respectivamente em sistemas de condensador central e bomba de vácuo e de condensador e bomba de vácuo individual. Estes valores foram obtidos em levantamentos sanitários efetuados em várias usinas e correspondem aos valores citados em geral na bibliografia especializada.

O efluente da coluna barométrica dos evaporadores e cozedores de várias usinas de açúcar foi analisado, tendo sido verificados o pH, a temperatura, o teor de sólidos sedimentáveis e demanda bioquímica de oxigênio, 5 dias, 20°C. Os dados obtidos constam da tabela 1.

EQUIPAMENTO DE VÁCUO

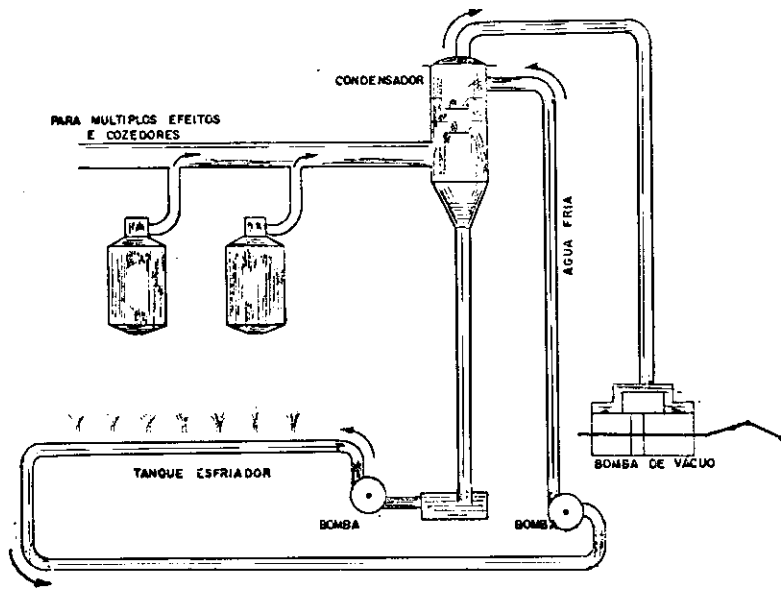


FIG. 1. SISTEMA DE VÁCUO

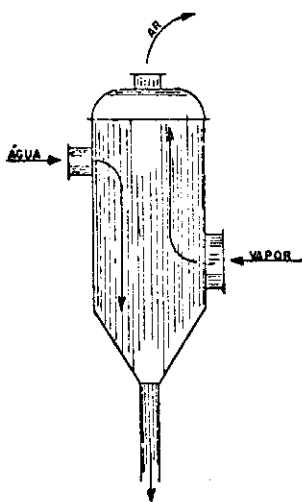


FIG. 2. CONDENSADOR DE AR SECO DE CONTRA CORRENTE.

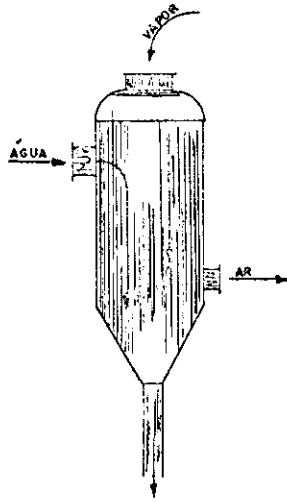


FIG. 3. CONDENSADOR DE AR SECO DE CORRENTE PARALELA

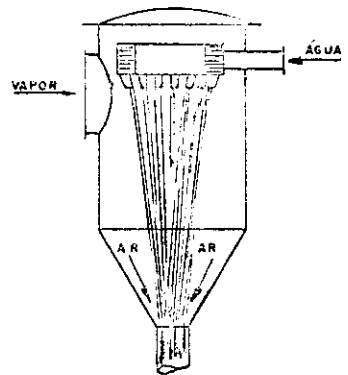


FIG. 4. CONDENSADOR DE CORRENTE PARALELA DE AR UNIDO (MULTI-JATO)

TABELA Nº 1: ANÁLISES DO EFLUENTE DA COLUNA BAROMÉTRICA

USINA	MUNICÍPIO	DETERMINAÇÕES			
		TEMP. DA ÁGUA: °C	pH	RESÍDUO SEDIM. ml/l	D.B.O. 5d 20°C mg/l C <sub>2</sub>
EFLUENTE DA COLUNA DOS EVAPORADORES					
SANTA BÁRBARA	Santa Bárbara D'Oeste	43	5,72	0,3	53,0
FURLAN	Santa Bárbara D'Oeste	38	6,91	0,5	19,8
FURLAN	Santa Bárbara D'Oeste	40	7,02	0,0	11,8
ESTER	Cosmópolis	44	7,00	1,2	60,6
ESTER	Cosmópolis	48	6,95	0,1	56,9
EFLUENTE DA COLUNA DOS COZEDORES					
SANTA BÁRBARA	Santa Bárbara D'Oeste	42	6,66	1,5	53,6
FURLAN	Santa Bárbara D'Oeste	30	6,72	0,5	16,2
FURLAN	Santa Bárbara D'Oeste	40	6,42	0,1	11,8
ESTER	Cosmópolis	30	6,52	0,1	24,8
ESTER	Cosmópolis	40	5,54	0,1	13,0
ESTER	Cosmópolis	39	6,60	0,1	28,0
ESTER	Cosmópolis	30	6,86	0,1	11,7
ESTER	Cosmópolis	37	6,70	3,0	34,1
ESTER	Cosmópolis	30	6,15	0,1	9,3
COSTA PINTO	Piracicaba	24	6,33	0,1	31,5
MODÉLO	Piracicaba	42	6,51	0,2	94,7
BRASILEIRA DE AÇÚCAR	Pôrto Feliz	40	6,70	2,0	12,2
BRASILEIRA DE AÇÚCAR	Pôrto Feliz	40	6,75	0,1	16,0
EFLUENTES DA COLUNA DOS EVAPORADORES E DOS COZEDORES					
MODÉLO	Piracicaba	50	6,06	0,1	99,1
MARIA IZABEL	Américo Brasiliense	42	6,56	0,3	40,0

### 3. TRATAMENTO: LAGOAS DE OXIDAÇÃO

Verificou-se pelo levantamento bibliográfico, que as referências à oxidação de resíduos líquidos das indústrias açucareiras, são bastante escassas. No Brasil, é mencionado apenas um sistema, constituído de canal anaeróbico e lagoa aeróbica para efluentes de uma usina de açúcar no Estado do Rio de Janeiro. (3) Bhaskaran e Chakrabarty (4), descrevem o funcionamento de uma planta piloto existente na Índia e, composta de uma caixa de gordura, de tanques de digestão e de uma lagoa de oxidação. Este aparato e, a drenagem de algas para a lagoa, provenientes de um tanque de cultura, produziu uma eficiência de redução da DBO, da ordem de 90%, computando a digestão anaeróbia e a oxidação aeróbia. Uma posterior aclimação das algas no resíduo, produziu uma sensível melhora na eficiência de redução, enquanto que um aumento da transparência, foi obtido com o plantio de, «jacinto», que é um vegetal superior.

Entretanto, parece evidente, tendo por base os dados dessa experiência, que o influente é constituído das chamadas águas amoniacais e de outros resíduos da industrialização da cana de açúcar, não tendo sido a água das colunas barométricas, lançadas na lagoa estudada.

Para execução do presente trabalho, foram consideradas duas lagoas experimentais, existentes no estado de São Paulo, situadas respectivamente nos municípios de Jaboticabal e Leme e, que recebem a água das colunas barométricas.

Foram feitas ainda, em escala de laboratório duas experiências onde se utilizou a água da coluna barométrica de uma usina do município de Cosmópolis.

#### 3.1. Lagoa da Usina Santa Adélia (Jaboticabal)

Esta lagoa foi projetada, aproveitando-se uma depressão do terreno, a juzante da indústria, percorrida pelo córrego do Côco. Para tanto, construiu-se uma barragem de mais ou menos 300 m. de comprimento. A área inundada da lagoa é da ordem de 187.300 m<sup>2</sup>, (dos quais, 110.000 m<sup>2</sup>, serviam ao plantio de cana) e, o volume de armazenagem de 241.000 m<sup>3</sup>. A profundidade média é de 1,3 m, havendo porém certos locais em que é atingida mais de 7 m.

Sendo a vazão do influente em torno de 21.600 m<sup>3</sup>/dia, o tempo de detenção oscila ao redor de 11 dias.

Juntamente com o despejo da indústria (água das colunas barométricas e água de lavagem das canas) é, lançado à lagoa, o esgoto doméstico correspondente a cerca de 200 pessoas.

O efluente da lagoa, através, de um sistema de aeração por cascadeamento, atinge o córrego do Côco e deságua no Córrego do Rico.

É de se salientar ainda, que o lago entrou em regime de operação na safra de 1970. Uma vez que não foi procedida a limpeza prévia e a retirada dos vegetais existentes na área inundada, encontram-se restos de cana e de outros vegetais flutuando nas regiões próximas às margens. Estes, além de concorrer para a produção de odores, propiciam à proliferação de inúmeras larvas de mosquitos, principalmente de culicídeos e sirfídeos, (tubífera).

O material do fundo em decomposição recente influi também, dificultando o processo de estabilização. Ao longo de toda a porção final da lagoa, existem algas em grande quantidade (concentração média de clorofila 1,104 mg/l) predominando os fitoflagelados dos gêneros *Pyrobrysts* e *Euglena*.

#### 3.2. Lagoa da Usina Cresciumal (Leme)

Foram construídas duas lagoas em série, tendo se utilizado o antigo leito do rio Mogi Guaçu a juzante da indústria. O nível do líquido nas lagoas não atingiu ainda, altura suficiente para que a água flua através da tubulação instalada para esse fim pois, ocorrem vazamentos ao longo do seu comprimento.

A primeira lagoa apresenta uma superfície de espelho d'água de 79.320 m<sup>2</sup> e volume de 146.280 m<sup>3</sup>. A profundidade média é de 1,8 m havendo no entanto alguns pontos em que é atingida a profundidade de 4 m.

A segunda, com uma superfície de espelho d'água de 226.000 m<sup>2</sup>, volume de 412.000 m<sup>3</sup>, apresenta 1,8 m de profundidade média, chegando porém a 3 m em certo pontos.

As lagoas começaram a ser operadas na safra de 1970, recebendo as mesmas, apenas a água proveniente da coluna barométrica, além do esgoto doméstico correspondente a cerca de 200 pessoas.

Como a vazão dos resíduos industriais lançados nas lagoas oscila em torno de 19.000 m<sup>3</sup>/dia, o tempo de retenção na primeira, é de 8 dias e na segunda de 21 dias, perfazendo um total de 29 dias de retenção.

Nestas lagoas não sendo encontrados restos de vegetais flutuantes e, tendo sido feita a limpeza das margens, a ocorrência de mosquitos é bastante pequena.

Como parte do fitoplâncton são encontradas algas principalmente euglenofíceas. A concentração média de clorofila é de 0,056 mg/l.

### 3.3. Coleta, análises e resultados:

3.3.1. Na lagoa Santa Adélia. As coletas foram realizadas no período de 23 de setembro a 4 de outubro de 1970 pois, tendo a indústria atingido a sua cota oficial de produção de açúcar (200.000 sacas), prosseguiu apenas na fabricação de álcool.

Na tabela n.º 2, são apresentadas as varia-

ções e médias de análises do influente e do efluente.

A variação de  $DBO_{5d}$  20°C foi de 5 a 14 g/m<sup>2</sup>/dia, sendo a média de 10 g/m<sup>2</sup>/dia.

Em termos de redução de D.Q.O. pelo bicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), a eficiência foi de 52% e em termos de redução de D.B.O.<sub>5d</sub> 20°C houve uma eficiência de 30%.

TABELA Nº2: Análises efetuadas na lagoa da usina Santa Adélia

TIPO DE ANÁLISE	INFLUENTE		EFLUENTE	
	Variação	Média	Variação	Média
Temp. ar °C	26-33	-	29-36	-
Temp. água °C	23-30	-	24-33	-
pH	5,1-6,3	-	6,0-6,1	-
R. total (g/l)	0,136-0,575	0,292	0,152-0,278	0,195
R. sol.(g/l)	0,075-0,396	0,194	0,090-0,177	0,121
Mat.susp. (g/l)	0,050-0,189	0,116	0,029-0,165	0,076
R. sed (ml/l)	1,3-11,0	4,3	0,0-1,5	0,7
O.D. (mg/l)	1,0-3,2	2,4	0,0-0,0	0,0
D.Q.O. (mg/l)	111-464	263	117-140	127
D.B.O. (mg/l)5d 20°C	44-121	92	38-77	64
Côr (mg Pt/l)	30-60	-	120-150	-
Turbidêz (UJT)	3-40	-	12-20	-
N. amoniacal (mg/l)	0,02-1,35	0,31	0,02-0,06	0,03
N. nitroso (mg/l)	0,02-0,03	0,02	0,01-0,06	0,02
N. nítrico (mg/l)	0,02-0,12	0,05	0,03-0,06	0,04
Fosfato (mg/l)	0,02-0,16	0,05	0,02-0,06	0,04
Clorofila (mg/l)	-	-	-	1,104

### 3.3.2. Na lagoa Cresciumal

Foi efetuada nas lagoas uma série de 4 amostragens, de 28 de setembro a 6 de outubro de 1970, cujas variações e médias constam da tabela 3.

Para a primeira lagoa, houve uma variação de 19 a 40 g de  $DBO_{5d} 20^{\circ}C/m^2/dia$ , sendo a média de 30 g  $DBO_{5d} 20^{\circ}C/m^2/dia$ . Na segunda, a  $DBO_{5d} 20^{\circ}C$  variou de 4,1 a 7,0 g/ $m^2/dia$ , sendo a média de 5,3 g/ $m^2/dia$ .

A redução de D.Q.O. na 1.<sup>a</sup> lagoa (8 dias de detenção), foi de 33,5% e a redução média de D.B.O. de 50%. Na segunda lagoa (21 dias de retenção), a D.Q.O. foi reduzida de 49%, enquanto que a redução média de D.B.O. chegou a 62%. Computando as duas lagoas em série (29 dias de retenção) a eficiência de redução em termos de D.Q.O. foi de 66,2% e de D.B.O. de 86%.

### 3.4. Experiência no laboratório

Além das observações efetuadas nas lagoas citadas, baseando-se nas experiências preliminares efetuadas em outubro e novembro de 1969, com a água da coluna barométrica da usina Ester, Cosmópolis (onde se verificou a existência de apenas traços dos macronutrientes, fósforo e nitrogênio), bem como na bibliografia que menciona a utilização de algas, *Chlorococcum* e *Euglena* (5, 6, 7) para o consumo de açúcar, instalou-se em escala de laboratório, duas pequenas lagoas experimentais que foram operadas em outubro e novembro de 1970.

#### 3.4.1. Material e método

Em aquários de 0,50 x 0,50 x 0,45 m, contendo 30 litros do efluente da coluna barométrica, da usina Ester, Cosmópolis foram adicionados fósforo e nitrogênio. A concentração desses nutrientes, foi calculado segundo a relação

TABELA N.º 3 — Análises efetuadas nas lagoas da Usina Cresciumal

TIPO DE ANÁLISE	INFLUENTE		Passagem da 1. <sup>a</sup> para a 2. <sup>a</sup> lagoa		EFLUENTE	
	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média
Temp. ar °C	21-28	-	21-28	-	21-28	-
Temp. água °C	25-27	-	25-27	-	21-26	-
pH	5,1-6,5	-	5,0-5,2	-	6,6-6,8	-
R. Total (g/l)	0,081-0,494	0,312	0,099-0,259	0,189	0,076-0,195	0,145
R. solúvel (g/l)	0,077-0,256	0,166	0,093-0,173	0,131	0,061-0,111	0,078
Mat. susp. (g/l)	0,004-0,105	0,054	0,006-0,087	0,054	0,012-0,134	0,066
R. sed. (ml/l)	0,1-3,5	2,0	0,1	0,1	0,1	0,1
O.D. (mg/l)	0,6-4,2	2,6	0,0-1,0	0,4	0,3-3,0	1,7
D.Q.O. (mg/l)	110-213	159	80-130	106	45-64	54
$D.B.O_{5d} 20^{\circ}C$ (mg/l)	81-168	125	49-83	62	12-14	13
N. am. (mg/l)	0,06-0,20	0,12	0,02-0,14	0,08	0,00-0,08	0,03
N. nitroso (mg/l)	0,06-0,07	0,06	0,04-0,06	0,05	0,03-0,04	0,04
N. nítrico (mg/l)	0,02-0,40	0,23	0,02-0,12	0,06	0,00-0,05	0,03
Fosfato (mg/l)	0,03-0,08	0,05	0,02-0,05	0,03	0,03-0,06	0,04
Clorofila (mg/l)	-	-	-	0,105	-	0,056

estabelecida entre a quantidade de P e N com a taxa de DBO. Essa relação segundo Sawyer (8) é  $DBO/N = 17/1$  e  $DBO/P = 90/1$ .

Como fonte de N foi utilizado o nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) e de P, o fosfato de sódio dibásico ( $Na_2HPO_4$ ) que são compostos bastante solúveis em água.

Os organismos fotossintetizantes, foram coletados na lagoa da usina Santa Adélia, e examinados ao microscópio de plancton. As algas foram cultivadas no laboratório, predominando os flagelados clorofilados, *Pyrobotrys*, *Euglena* e em menor número *Chlamidomonas* e *Chlorella*, sendo a cultura no momento da aplicação ao experimento, concentrada a vácuo.

A energia luminosa necessária a reação fotossintética, foi fornecida por duas lâmpadas fluorescentes de 20 w cada.

Na primeira experiência (aquário n.º 1) com um período de detenção de 7 dias, sem aeração artificial, após o quarto dia de operação, instalou-se um sistema de circulação para manter constante movimentação do líquido. Na segunda (aquário n.º 2) com tempo de detenção de 14 dias e aerada artificialmente, manteve-se a circulação desde o início. Para aeração, utilizaram-se dois arejadores comuns de aquário que insuflavam ar à razão de 130 bolhas por minuto. A temperatura foi controlada através de termostato.

No início e fim da experiência, foram efetuadas as seguintes análises do resíduo utilizado: Demanda bioquímica de oxigênio, resíduo sedimentável e teor de clorofila. Diariamente foram verificados: temperatura, pH, teor de oxigênio dissolvido, e efetuados testes para conhecimento da estabilidade relativa, através do método da solução azul de metileno em água destilada, que permite avaliar a evolução do processo biológico de oxidação, indicando aproximadamente a relação entre o teor de oxigênio disponível e oxigênio total, necessário para satisfazer a DBO, expressa em porcentagem.

Os métodos de análise utilizados foram os indicados pelo «Standard Methods for Examination of water and Wastewater» (9).

Para efeito comparativo, paralelamente aos experimentos mencionados, distribuiu-se o efluente da coluna barométrica em 5 frascos de 500 cc da seguinte maneira:

- 1) Despêjo e algas;
- 2) Despêjo e aeração;
- 3) Despêjo e nutriente;
- 4) Despêjo, algas, nutriente e aeração;
- 5) Despêjo (frasco controle).

Foram mantidas as mesmas condições de pH e temperatura que as da experiência anterior.

### 3.4.2 Resultados:

3.4.2.1. Água da coluna barométrica da usina Ester.

As análises das águas da coluna barométrica dos evaporadores revelaram uma DBO da ordem de 58 mg/l, e as da coluna dos cozedores apresentaram um valor mínimo de 9,3 mg/l e máximo de 34 mg/l. A taxa de oxigênio dissolvido variou entre 2,05 e 3,13 mg/l e o resíduo sedimentável geralmente menor que 0,1 ml/l excepcionalmente chegou a 3,0 mg/l em uma das coletas efetuadas. A determinação do teor de N e P, revelou a existência de apenas traços dos referidos elementos. Foi feita ainda a determinação do cobre, que mostrou um teor bastante baixo -- menor que 0,05 mg/l. Foram determinados resíduo total, fixo, solúvel, sólidos suspensos e matéria orgânica, cujos resultados constam da tabela n.º 4.

TABELA N.º 4 — Análise da água do Cozedor

Tipo de Análise	Valor Médio
Resíduo total (g/l)	0,131
Resíduo fixo (g/l)	0,080
Resíduo solúvel (g/l)	0,071
Matéria em suspensão (g/l)	0,060
Matéria orgânica (g/l)	0,051

O pH manteve-se sempre ácido (5,54 a 6,95) chegando apenas excepcionalmente, em uma das coletas de água da coluna dos evaporadores, a ser neutro. A temperatura variou entre 30 e 48°C (Tabela 1).

Após terem sido feitas essas análises, foram iniciadas as experiências de laboratório.

3.4.2.2. Experiência com período de detenção de 7 dias (Aquário n.º 1).

No dia 6 de outubro, a 30 litros de água da coluna barométrica do cozedor, foram adicionados os macronutrientes P e N e mais a cultura de algas de acordo com o exposto no item referente a material e métodos.



Os resultados das determinações diárias estão inseridos nas tabelas n.º 5.

**TABELA N.º 5 — Análises diárias no aquário n.º 1**

DATA		DETERMINAÇÕES			
1970		pH	Temp. água (°C)	Estabilidade relativa - %	O.D. (mg/l)
DIA	MES				
6	10	6,54	22,1	50	3,10
7	10	6,30	22,0	30	4,05
8	10	6,32	22,1	30	3,60
9	10	6,26	23,0	30	4,10
10	10	6,30	21,5	50	5,00
11	10	6,43	22,4	60	5,20
12	10	7,06	23,0	98	5,13

Observa-se que o pH esteve sempre ácido a excessão do último dia de experiência, em que chegou a 7,06. A temperatura oscilou levemente dentro dos limites máximos de 23°C e mínimo de 21,5°C, no decorrer de toda a experiência. O teor de oxigênio dissolvido subiu gradativamente de 3,10 mg/l a 5,13 mg/l. Os testes iniciais e finais mostraram que o resíduo, sedimentável inicialmente de 0,1 ml/l, ao final da experiência passou a ser menor que 0,1 ml/l, e que a taxa de clorofila, de 1.396 mg/l chegou a 0,075 mg/l. A DBO inicial de 13 mg/l, após 7 dias de retenção, chegou a 1,0 mg/l. O teste de estabilidade relativa passou inicialmente de 50%, oscilando até 30%, para chegar ao final do experimento com a excelente taxa de 98%.

A eficiência de redução de DBO atingiu portanto 92% com 7 dias de retenção.

3.4.2.3. Experiência com período de retenção de 14 dias (Aquário n.º 2).

No dia 14 de outubro iniciou-se novo experimento com 30.1. do efluente, onde também foram adicionados nutrientes (P e N) e uma cultura de algas. A DBO inicial foi de 28 mg/l; o oxigênio dissolvido, 2,54 mg/l; o pH 6,9; turbidez 29,0 e resíduo sedimentável 0,1 ml/l. A concentração de clorofila da cultura foi de 1,578 mg/l.

Durante 14 dias, com aeração artificial, foram feitas as determinações constantes da tabela n.º 6.

**TABELA N.º 6 — Análises diárias no aquário n.º 2**

DATA		DETERMINAÇÕES			
1970		pH	Temp. água °C	Estabilidade relativa - %	O.D. (mg/l)
DIA	MES				
14	10	6,9	22,5	75	6,9
15	10	6,8	22,0	87	7,3
16	10	6,9	22,5	94	7,0
17	10	6,8	22,0	99	6,5
18	10	7,2	23,0	99	7,3
19	10	7,2	22,5	99	6,6
20	10	7,2	22,5	99	7,2
21	10	7,3	23,0	99	7,3
22	10	6,9	22,0	99	7,4
23	10	7,4	23,0	99	7,6
24	10	6,9	22,5	99	7,6
25	10	6,9	22,5	99	7,9
26	10	7,5	23,0	99	7,6
27	10	6,6	22,5	99	7,5

Observa-se que o pH, em geral, ligeiramente ácido, chegou por vezes a ser alcalino. A temperatura oscilou apenas levemente, dentro dos limites 22,0°C-23,0°C. A turbidez atingiu a 3, havendo portanto excelente redução. A concentração de clorofila passou a 0,143 mg/l e o resíduo sedimentável de 0,1 ml/l chegou a ser menor do que 0,1 ml/l.

A DBO foi reduzida para 2,2 mg/l e acompanhando esta redução, os testes de estabilidade relativa variaram de 75 a 99%. A eficiência de redução de D.B.O. chegou a 92%.

A experiência continuou em andamento até 16 de novembro de 1970, tendo se observado que a quantidade de algas aumentou novamente no período de 5/11 a 16/11.

3.4.2.4. Análise dos testes comparativos.

Os testes para efeito comparativo, revelaram os seguintes resultados nas duas experiências realizadas:

- 1) Despêjo e algas — Após 4 dias, há completo desaparecimento das algas.
- 2) Despêjo e aeração — Após 2 dias inicia-se uma clarificação.

- 3) Despêjo e nutriente — Após 7 dias na primeira experiência e 14 dias na segunda, as características iniciais do despêjo permanecem inalteradas.
- 4) Despêjo, algas, nutriente e aeração — Ao término das experiências, há uma clarificação mais acentuada do que a do frasco n.º 2. O teste de estabilidade relativa apresenta um resultado de 98%.
- 5) Despêjo (frasco de contrôle) — Ao final das experiências permanecem com as mesmas características iniciais.

#### 4. DISCUSSAO

##### 4.1. Lagoa da usina Santa Adélia (Jaboticabal)

Tendo sido a lagoa construída utilizando-se um vale já existente, são encontradas regiões em que a profundidade chega a ser maior do que 7 m. Porém, como a relação entre o volume armazenado e a área de lagoa é de 1,3 m, será a mesma analisada, como sendo uma lagoa facultativa.

Segundo Cubillos (10) para lagoas deste tipo, a carga orgânica pode ser da ordem de 25 g de DBO, 5 dias 20°C/m<sup>2</sup>/dia. Para a lagoa da usina Santa Adélia, de acordo com os dados obtidos, a carga orgânica oscila ao redor de 10 g de DBO 5d.20°C/m<sup>2</sup>/dia, para um período de retenção de cerca de 11 dias.

O influente da lagoa contém em média 2,4 mg/l de oxigênio dissolvido. Na saída da lagoa porém, este teor médio é reduzido para cerca de 0,0 mg/l, tudo indicando que, em grande parte a lagoa estejam em fase anaeróbica. Corroborando esta hipótese, a ocorrência de flutuação da matéria orgânica não estabilizada existente desde anteriormente no fundo e, ainda, o lançamento de águas da lavagem de cana, que aumentam a turbidez, diminuindo a transparência da lagoa.

Deve-se considerar também, que a média de valores obtidos para a relação DBO/N e DBO/P, respectivamente 243/1 (não se considerando o nitrogênio orgânico) e, 1840/1, é elevada para permitir a proliferação de algas. Porém, na região correspondente à desembocadura da lagoa, ocorre em certos períodos grande proliferação de algas (teor médio de clórofila 1,430 mg/l) embora, a taxa de oxigênio dissolvido, como foi mencionado anteriormente, chegou próxima do 0,0 mg/l. Isto pode ser explicado, tendo em vista os seguintes fatos:

- a) grande parte do oxigênio fornecido pelas algas se perde para a atmosfera pela simples

difusão existente na interface superfície do líquido-atmosfera.

- b) o oxigênio produzido pela atividade fotosintética das algas da superfície e regiões próximas, é rapidamente consumido na oxidação da matéria orgânica pela atividade bacteriana.
- c) a existência de material não estabilizado no fundo causa também uma demanda bentrônica de oxigênio.
- d) a diminuição da transparência da lagoa devido as águas de lavagem das canas e, as algas da superfície, fazem com que as algas que se encontrem em maiores profundidades, não dispondo de energia luminosa suficiente para a fotossíntese morram, contribuindo para o aumento da matéria orgânica consumidora de oxigênio.
- e) existe também um consumo de oxigênio devido a respiração das próprias algas.

Observa-se na tabela n.º 2, que a DBO média do efluente é de 64 mg/l.

Todavia, contendo a amostra grande quantidade de algas, e não tendo na técnica de análise se empregado a filtração, evitando assim a influência da matéria orgânica constituída pelas algas mortas, deve-se ressaltar que, o valor real da DBO deve ser mais baixo do que aquele obtido o que, viria portanto, aumentar a eficiência da lagoa, para mais de 30%, em termos de redução de DBO.

Outro fato a salientar é que havendo grande quantidade de material flutuante junto às margens, e a pouca correnteza (a não ser quando o vento se torna mais intenso) ocorre em grande número larvas de mosquitos, principalmente das famílias Culicidae, Sirphidae e Chironomidae.

Nas horas mais quentes do dia ocorre despreendimento de gases, sendo perceptível o odor característico de gás sulfúrico.

##### 4.2. Lagoas da Usina Cresciúmal (Leme)

Estas lagoas, construídas no antigo leito do rio Mogi Guaçu, apresentam profundidade mais uniforme do que a da Usina Santa Adélia, embora ocorram pontos em que a profundidade atinge 4 m.

Na 1.ª lagoa (considerada aqui como lagoa facultativa), segundo dados obtidos (tabela 3), a carga orgânica média é de 30 g de DBO<sub>5d</sub> 20°C/m<sup>2</sup>/dia, com período de retenção de 8 dias. Na 2.ª, com tempo de retenção de 21 dias, a carga orgânica média é de 5,3 g de DBO<sub>5d</sub> 20°C/m<sup>2</sup>/dia. Verifica-se, que estes valores não estão

muito desviados daqueles apresentados na bibliografia (10). No influente da 1.ª lagoa a taxa média de oxigênio dissolvido é de 2,3 mg/l. Nessa lagoa foram feitas análises de OD ao longo de toda sua extensão (6 pontos de amostragem), desde a entrada do despêjo até a passagem desta para a 2.ª lagoa. Assim como ocorre na lagoa da usina Santa Adélia, há um decréscimo do oxigênio dissolvido que chega, por vezes, a atingir valores próximos ao 0,0 mg/l. Em alguns pontos de maior profundidade, deve ocorrer anaerobiose.

Na 2.ª lagoa, nos 5 pontos de coleta demarcados, obteve-se valores crescentes de oxigênio dissolvido (valor médio de OD no efluente = 1,7 mg/l), indicando razoável recuperação. Este oxigênio é produzido pela ação fotossintética das algas do fitoplâncton, cujo teor médio de clorofila é de 0,056 mg/l).

Pela tabela n.º 3, verifica-se que a DBO média do efluente é de 13 mg/l. Todavia, a eficiência de redução da DBO deve ser maior, levando-se em conta que a amostra não foi filtrada, para eliminar as algas. Porém, para esta lagoa, devido a menor concentração de organismos pigmentados encontrados, o aumento da eficiência deverá ser também menor se comparado ao da lagoa Santa Adélia.

Por outro lado, na 2.ª lagoa, ocorrem insetos, como coleópteros e hemípteros aquáticos, além de ninfas de odonata que constituem já bons indicadores de águas limpas. Verificou-se ainda, a existência de peixes.

Não existindo plantas superiores ou restos de vegetais flutuantes na superfície da lagoa ou em suas margens, não ocorre grande proliferação de larvas de mosquitos como acontece na lagoa Santa Adélia.

#### 4.3. Experiências de laboratório

Observando-se os resultados do teste de estabilidade relativa, no aquário n.º 1 (tabela n.º 4), verifica-se que a instalação de um sistema de circulação no aquário, propiciou uma aceleração no processo de estabilização da matéria orgânica, pois, manteve uma certa homogeneidade na distribuição das algas e dos nutrientes.

No aquário n.º 2 (tabela n.º 5), a estabilização se deu mais rapidamente ainda, pois ao lado da circulação, foi procedida uma aeração artificial. Esta aeração concorreu também para uma rápida clarificação do despêjo, facilitando a penetração da luz e conseqüentemente a atividade fotossintética das algas. Este fato, foi bastante visível nas experiências para efeito comparativo, onde o líquido nos frascos aerados, rapidamente evidenciava grande transparência.

Através do teor de clorofila, verificou-se ter ocorrido redução do número de algas. Convém notar, no entanto, que a manutenção de algas em experiências com despêjos industriais no laboratório é uma tarefa difícil, pois raramente se consegue manter as mesmas condições existentes no ambiente natural.

Observou-se, porém, que mantidas as condições de experiência no aquário n.º 2 até 16 de novembro, e, com o fornecimento de intensidade de luz em foto períodos de 12 horas, a partir de 5 de novembro, as algas tiveram um desenvolvimento acentuado, aparecendo uma coloração verde no aquário, indicando boa aclimação desses organismos ao despejo.

Em ambas as experiências, com períodos de retenção e aeração diferentes e com adição de concentrações conhecidos de nutrientes obteve-se uma taxa de redução de DBO<sub>5d</sub> 20°C de 92%.

#### BIBLIOGRAFIA

1. BOLETIM informativo da Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. III 1969, 19 p.
2. HUGOT, E. — Manual para Ingenieros azucareros. 1954/560-602, p. México. Cia. Edit. Continental S. A.
3. HESS, M. L. — Aplicações às águas residuárias in Lagoas de Estabilização 1967, (X):7. Fac. Hig. Saúde Pública da U.S.P.
4. BHASKARAN, T. R. & CHAKRABARTY, R. N. — Pilot plant for treatment of cane-sugar waste, 1966, Journal water Central Pollution (38):7:1160-1169.
5. MALONEY, T. E. — Utilization of sugars in spent sulfit liquor by a green alga, *Chlorococum macrostigmatum*, Sewage and ind. wastes. 310:1935-1400, 1959.
6. BRANCO, S. M. — 1964 — Sobre a utilização de microrganismos flagelados como indicadores de poluição, São Paulo, FHSP da USP, 1964. 117 p. (Tese — Docência Livre — Hidrobiologia).
7. BARTSCH, A. F. — Algae in relation to oxidation process in natural waters — 56-70. Robert A. Taft. Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio.
8. BRANCO, S. M. — Hidrobiologia Aplicada a la Ingenieria Sanitaria, 1969. 209 p, Lima, Peru.
9. Standard Methods for examination for the wastewater 1960, 11.ª ed., APHA, AWWA, WPCF.
10. CUBILLOS, Z. — Lagunas de estabilizacion. Suficiencia en la remocion de materia organica y microorganismos en las condiciones del tropico, 1970:1-39. XII Congreso.