

# Estratificação térmica e reflexos na qualidade da água em reservatórios de acumulação do Sistema Produtor Cantareira - São Paulo (1)

MARIA CECILIA PARO (2)

## 1. INTRODUÇÃO

Na qualidade da água, o represamento é um dos fatores que mais afeta as suas características físicas, químicas e biológicas.

Dentre os fatores que contribuem para a melhoria da qualidade da água após o seu represamento, destaca-se a redução da turbidez, do teor de sílica, da cor, de bactérias. O represamento evita variações bruscas dos minerais dissolvidos, do pH, da alcalinidade e da temperatura.

Efeitos prejudiciais à qualidade da água também ocorrem como a diminuição do oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas, aumento de gás carbônico, do ferro, do manganês, da alcalinidade, além de criar condições ao desenvolvimento excessivo de algas.

Com o represamento, a velocidade do fluxo da água diminui consideravelmente, ocorrendo uma quebra na taxa de reeração superficial, causada pela baixa velocidade e pelo aumento da profundidade da camada d'água.

A estratificação térmica de águas represadas ocorre em função das condições climáticas, da relação da área

de superfície com a profundidade, da exposição aos ventos, do período de renovação das águas e da profundidade média da represa. O Estabelecimento gradual dela induz à formação de três camadas distintas ao longo da coluna d'água: o epilimnion, o metalimnion e o hipolimnion. Estas camadas permanecem distintas por causa da diferença de densidade criada entre elas. Assim, o estrato superficial — o epilimnion apresenta temperatura mais alta e relativamente homogênea, sofrendo a ação de circulação do vento. No verão a sua capacidade de absorção de oxigênio dissolvido reduz-se consideravelmente, embora o déficit possa ser compensado pela alta produtividade primária. O metalimnion é caracterizado por uma queda de temperatura bastante significativa ao longo de alguns metros da camada d'água. O hipolimnion apresenta temperatura homogeneizada, sendo uma camada praticamente estagnada não podendo ser reoxigenada pela ação física. Este trabalho mostra a caracterização da estratificação térmica em uma das represas do sistema de abastecimento do Alto da Cantareira, a represa Paiva Castro.

O reservatório Paiva Castro está localizado numa altitude de 745 m acima do nível do mar, a 23° 20' de latitude sul e 46° 40' de longitude oeste. Ocupa uma área de 5,3 km<sup>2</sup> e apresenta a capacidade de 35,4 . 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> sendo seu volume útil de 9,4 . 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Sua profundidade média é de 6,8 m e

apresenta tempo teórico de retenção de 0,08 ano. Sua água é conduzida à Estação de Tratamento do Guaraú através da Estação Elevatória Santa Inês.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo do levantamento do perfil térmico juntamente com alguns parâmetros físico-químicos e biológicos foi iniciado no começo de 1979, nas represas Paiva Castro e Atibainha, ambas pertencentes ao Sistema Cantareira. Este sistema é constituído por quatro grandes represas e a Estação de Tratamento do Guaraú (vide esquema anexo).

Apresentaremos aqui apenas gráficos e resultados de um dos pontos de coleta do levantamento que foi efetuado mensalmente desde abril de 1979 a julho de 1980. Estes dados referem-se apenas à represa Paiva Castro. O trabalho apresentando todos os dados do levantamento deverá ser publicado, na sua íntegra, pela revista DAE.

A série de parâmetros seguinte foi obtida durante o período de levantamento: Nitrogênio Amoniacoal, Nitrogênio Nítrico, Nitrogênio Kjeldahl Total, Fosfato Solúvel Total, Ortofosfato, Fosfato Total, DBO, DQO, Sulfeto, Clorofila-a, Feofitina-a, Cor, Turbidez, Alcalinidade Total, Condutividade Específica, Oxigênio Dissolvido, Ferro, Manganês, pH, NMP Coliformes Totais e Fecais, Contagem e Identificação do fitoplâncton.

O levantamento dos dados de tem-

(1) Texto condensado para fins de apresentação no 11.º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

(2) Bióloga, Encarregada do Laboratório de Hidrobiologia do Departamento de Controle Sanitário — Diretoria de Operação da Região Metropolitana — SABESP.

peratura foi obtido diretamente de leituras realizadas em campo, dados por um termosalinômetro de marca Beckman modelo RS 5-3.

Os dados apresentados neste resumo são relativos apenas ao ponto 6 e representam a qualidade junto à bar-

ragem onde se dá o escoamento a jusante. (tabelas V e VI).

Os aparelhos utilizados para a coleta de amostras constaram de um coletor tipo Kemmerer para 5 litros e um aparelho para a coleta de amostras de oxigênio dissolvido em profundidade.

### 3. RESULTADOS

Apresentamos a seguir os resultados obtidos nas análises das amostras do ponto 6 (tabelas V e VI), referentes à represa Paiva Castro. Os gráficos n.ºs 5 e 6, 15 e 16, 21 e 22 e 25 e 26, res-

TABELA V - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS - REPRESA PAIVA CASTRO

| Meses<br>Parâmetros                         | Meses  |       |     |        |        |        |        |        |        |        |        |            |              |            |       |       |       |
|---|--------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------------|------------|-------|-------|-------|
|   | ABR/79 | MAI   | JUN | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | JAN/80 | FEV    | MAR        | ABR          | MAI        | JUN   | JUL   |       |
| Orto<br>PO <sub>4</sub><br>mg/l P           | s      | .     | .   | <0,011 | <0,011 | <0,011 | 0,013  | <0,011 | <0,011 | .      | .      | 0,013      | .            | <0,011     | .     | .     |       |
|   | m      | .     | .   | <0,011 | <0,011 | <0,011 | <0,011 | 0,013  | <0,011 | .      | .      | 0,016      | .            | <0,011     | .     | .     |       |
|   | f      | .     | .   | <0,011 | <0,011 | <0,011 | <0,011 | <0,011 | 0,011  | .      | .      | 0,045      | .            | <0,011     | .     | .     |       |
| PO <sub>4</sub><br>Sol. Total<br>mg/l P     | s      | 0,020 | .   | <0,011 | <0,012 | <0,012 | .      | .      | .      | .      | .      | .          | 0,015        | 0,031      | 0,005 | 0,010 |       |
|   | m      | 0,032 | .   | <0,011 | <0,012 | <0,012 | .      | .      | .      | .      | .      | .          | 0,021        | 0,035      | 0,005 | 0,005 |       |
|   | f      | 0,020 | .   | 0,011  | <0,012 | 0,013  | .      | .      | .      | .      | .      | .          | 0,018        | 0,028      | 0,005 | 0,005 |       |
| PO <sub>4</sub><br>Total<br>mg/l P          | s      | .     | .   | .      | .      | <0,012 | 0,018  | <0,021 | <0,012 | 0,013  | <0,012 | 0,041      | 0,028        | 0,033      | 0,010 | 0,020 |       |
|   | m      | .     | .   | .      | .      | <0,012 | <0,012 | 0,015  | <0,012 | 0,013  | <0,012 | 0,052      | 0,028        | 0,038      | 0,005 | 0,010 |       |
|   | f      | .     | .   | .      | .      | <0,012 | <0,012 | <0,012 | <0,012 | 0,013  | <0,012 | 0,045      | 0,052        | 0,038      | 0,005 | 0,015 |       |
| N - NH <sub>3</sub><br>mg/l N               | s      | 0,17  | .   | 0,18   | 0,26   | 0,12   | 0,11   | 0,092  | 0,13   | 0,052  | 0,09   | <0,023     | 0,035        | 0,037      | 0,06  | 0,37  | 0,43  |
|   | m      | 0,12  | .   | 0,20   | 0,24   | 0,16   | 0,12   | 0,099  | 0,11   | 0,31   | 0,25   | 0,08       | 0,36         | 0,14       | 0,08  | 0,45  | 0,39  |
|   | f      | 0,90  | .   | 0,22   | 0,24   | 0,27   | 0,11   | 0,26   | 0,22   | 0,18   | 0,88   | 0,44       | 0,87         | 0,17       | 0,15  | 0,37  | 0,35  |
| N - NO <sub>3</sub><br>mg/l N               | s      | 0,07  | .   | 0,11   | 0,25   | 0,19   | 0,22   | .      | 0,13   | 0,13   | 0,09   | 0,09       | 0,07         | 0,03       | 0,05  | 0,05  | 0,12  |
|   | m      | 0,07  | .   | 0,11   | 0,25   | 0,32   | 0,24   | .      | 0,13   | 0,11   | 0,05   | 0,07       | 0,06         | 0,01       | 0,02  | 0,05  | 0,12  |
|   | f      | 0,01  | .   | 0,11   | 0,27   | 0,24   | 0,28   | .      | 0,23   | 0,12   | 0,01   | 0,01       | 0,06         | 0,03       | 0,10  | 0,05  | 0,12  |
| N<br>Kjeldahl<br>mg/l N                     | s      | .     | .   | 0,61   | 0,45   | 0,78   | 0,59   | 0,55   | 0,75   | .      | .      | .          | 0,68         | 0,42       | 0,79  | 0,50  |       |
|   | m      | .     | .   | 0,71   | 0,40   | 0,74   | 0,50   | 0,51   | 1,00   | .      | .      | .          | 0,50         | 0,48       | 0,91  | 0,40  |       |
|   | f      | .     | .   | 0,55   | 0,54   | 0,71   | 0,60   | 0,50   | 0,82   | .      | .      | .          | 1,23         | 0,64       | 0,75  | 0,50  |       |
| Sulfeto<br>mg/l S                           | s      | .     | .   | .      | .      | .      | .      | .      | .      | .      | .      | 5m<br>0,1  | 9m<br>0,1    | 5m<br>0,1  | .     | .     |       |
|   | m      | .     | .   | .      | .      | .      | .      | .      | .      | .      | .      | 10m<br>2,5 | 10,5m<br>0,1 | 10m<br>0,1 | .     | .     |       |
|   | f      | .     | .   | 0,1    | 0,1    | 0,5    | 1,0    | 0,9    | 1,0    | 0,3    | 0,2    | 2,3        | 0,1          | 0,1        | 0,1   | 0,3   |       |
| Ferro<br>mg/l Fe                            | s      | 0,37  | .   | 0,37   | 0,22   | 0,45   | 0,38   | 1,03   | 0,63   | 0,41   | 0,83   | 0,64       | 0,57         | 0,32       | 0,25  | 1,27  | 0,83  |
|   | m      | 0,34  | .   | 0,41   | 0,31   | 0,28   | 0,35   | 0,87   | 0,76   | 0,49   | 0,64   | 0,84       | 1,00         | 0,40       | 0,32  | 1,21  | 0,79  |
|   | f      | 11,97 | .   | 0,44   | 0,22   | 4,88   | 3,47   | 0,41   | 0,95   | 1,05   | 3,28   | 1,05       | 4,60         | 7,23       | 13,15 | 1,56  | 0,75  |
| Manganês<br>mg/l Mn                         | s      | 0,290 | .   | 0,025  | 0,055  | 0,055  | 0,055  | 0,035  | 0,029  | 0,029  | 0,021  | 0,005      | 0,005        | 0,094      | 0,057 | 0,729 | 0,037 |
|   | m      | 0,270 | .   | 0,035  | 0,070  | 0,045  | 0,070  | 0,035  | 0,029  | 0,074  | 0,455  | 0,447      | 1,032        | 0,111      | 0,230 | 0,729 | 0,045 |
|   | f      | 3,650 | .   | 0,190  | 0,055  | 0,035  | 0,645  | 0,400  | 0,844  | 1,050  | 2,055  | 1,640      | 2,298        | 3,142      | 3,764 | 0,728 | 0,045 |
| pH  | s      | 7,2   | .   | 7,1    | 7,1    | 7,5    | 7,0    | 7,5    | 7,6    | 7,5    | 7,4    | 7,4        | 7,4          | 7,1        | 7,0   | 6,9   | 7,0   |
|   | m      | 7,3   | .   | 7,1    | 7,0    | 7,2    | 6,7    | 7,1    | 7,4    | 6,7    | 6,9    | 7,1        | 7,3          | 7,0        | 7,0   | 6,9   | 7,0   |
|   | f      | 6,7   | .   | 7,0    | 7,1    | 7,2    | 6,6    | 6,8    | 7,0    | 6,7    | 7,0    | 7,1        | 7,2          | 7,0        | 6,7   | 6,8   | 7,0   |
| Oxigênio<br>Dissolv.<br>mg/l O <sub>2</sub> | s      | 6,7   | .   | 7,7    | 7,1    | 8,1    | 7,6    | 7,9    | 8,4    | 8,5    | 7,6    | 7,6        | 7,2          | 6,1        | 6,5   | 5,0   | 7,9   |
|   | m      | 6,8   | .   | 6,9    | 6,7    | 5,4    | 6,0    | 3,4    | 6,8    | 0,3    | 0,3    | 0,4        | 0,3          | 5,9        | 3,2   | 3,8   | 6,9   |
|   | f      | 0,4   | .   | 5,9    | 6,8    | 4,5    | 3,6    | 0,9    | 0,9    | 0,3    | <0,05  | <0,05      | <0,05        | 0,2        | <0,05 | 3,6   | 6,0   |
| Cor<br>U.C                                  | s      | .     | .   | .      | .      | .      | 40     | 25     | 20     | 35     | 25     | 20         | 10           | 5          | 35    | 30    |       |
|   | m      | .     | .   | .      | .      | .      | 30     | 25     | 20     | 35     | 50     | 45         | 10           | 10         | 35    | 25    |       |
|   | f      | .     | .   | .      | .      | .      | 20     | 25     | 40     | 100    | 130    | 150        | 200          | 300        | 40    | 20    |       |
| Turbidez<br>NTU                             | s      | 3,4   | .   | 2,4    | 2,4    | 3,6    | 3,7    | 17     | 11     | 6,8    | 14     | 11         | 10           | 3,7        | 1,8   | 9,0   | 5,2   |
|   | m      | 4,3   | .   | 2,5    | 2,5    | 2,4    | 3,4    | 15     | 11     | 5,5    | 11     | 16         | 19           | 4,0        | 2,6   | 9,0   | 5,4   |
|   | f      | 37    | .   | 3,9    | 2,4    | 47     | 19     | 2,5    | 8,3    | 12     | 15     | 18         | 24           | 25         | 5,7   | 12    | 5,0   |
| Alcali-<br>nidade<br>mg/l CaCO <sub>3</sub> | s      | 15,1  | .   | 16,5   | 14,7   | 14,3   | 14,9   | 13,6   | 14,4   | 13,6   | 14,2   | 14,4       | 14,4         | 14,8       | 14,2  | 16,6  | 15,1  |
|   | m      | 15,1  | .   | 16,5   | 14,5   | 14,1   | 15,1   | 15,4   | 14,4   | 17,4   | 18,0   | 18,4       | 21,0         | 14,8       | 15,6  | 16,6  | 15,1  |
|   | f      | 31,5  | .   | 16,3   | 14,5   | 14,8   | 15,5   | 14,2   | 18,8   | 20,4   | 25,8   | 26,4       | 28,0         | 29,4       | 32,0  | 16,4  | 15,1  |
| Condu-<br>tividade<br>umho/cm               | s      | 40    | .   | 36     | 38     | 41     | 40     | 32     | 37     | 38     | 39     | 41         | 36           | 41         | 36    | 42    | 36    |
|   | m      | 40    | .   | 36     | 38     | 41     | 40     | 32     | 37     | 46     | 46     | 50         | 51           | 41         | 38    | 42    | 36    |
|   | f      | 40    | .   | 36     | 38     | 44     | 42     | 40     | 45     | 50     | 58     | 60         | 64           | 67         | 70    | 82    | 36    |
| DBO<br>mg/l                                 | s      | 1     | .   | 1      | <1     | <1     | <1     | 1      | 4      | 3      | 1      | 1          | 1            | 2          | 1     | 1     | 1     |
|   | m      | 4     | .   | <1     | 1      | <1     | <1     | 2      | 1      | 1      | 1      | 1          | 1            | 8          | 1     | 1     | 1     |
|   | f      | 2     | .   | <1     | 1      | <1     | <1     | <1     | 1      | 1      | 1      | <1         | 1            | 2          | 4     | 1     | 1     |
| DQO<br>mg/l                                 | s      | 9     | .   | <4     | 7      | 11     | 6      | 16     | 12     | 14     | 13     | 1          | 8            | 21         | 8     | 7     | 6     |
|   | m      | 10    | .   | 7      | 9      | 11     | 5      | 16     | 11     | 9      | 10     | 9          | 6            | 21         | 9     | 8     | 5     |
|   | f      | 10    | .   | 4      | 9      | 12     | 6      | 7      | 5      | 8      | 20     | 8          | 6            | 23         | 6     | 7     | 6     |

PONTO 6

s- superfície

m- altura mediana

f- profundidade máxima

. não foi feito a análise

- não foi feita a coleta

pectivamente de Julho/79, Dezembro/79, Março/80 e Maio/80, referem-se exclusivamente ao ponto 6, o qual apresentou durante todo o período em estudo, profundidade suficiente para a verificação da presença de estratificação térmica.

#### 4. DISCUSSÃO

Durante o mês de Julho verifica-se a homogeneização completa da água (gráficos 5 e 6). Em dezembro verificamos a presença nítida da estratificação embora o hipolimnion não se apresentasse ainda anóxico (gráficos 15 e 16). Em Março a camada anaeróbica profunda atingiu 7 metros de altura (cota 736). Nestas condições de anaerobiose os sulfetos são reduzidos provocando o aparecimento do gás

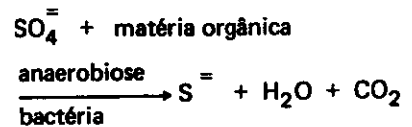
H<sub>2</sub>S. O ferro e o manganês também sofrem o processo de redução solubilizando-se (gráficos 21 e 22).

Em Maio a camada anaeróbica diminui bastante, já demonstrando a tendência ao período de homogeneização subsequente. (gráficos 25 e 26).

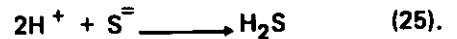
A anaerobiose leva à degradação do material orgânico com conseqüências desagradáveis como por exemplo a formação de mercaptanos. Vários gases inorgânicos resultam da atividade biológica, dentre eles o sulfeto de hidrogênio que apresenta odor desagradável.

O sulfeto de hidrogênio é o gás que prevalece em ambiente de anaerobiose.

O enxofre do ion sulfato age como agente oxidante como segue:



Sob condições ácidas o H<sub>2</sub>S é produzido.



De modo geral os parâmetros cor, turbidez, alcalinidade e condutividade apresentaram valores significativamente mais altos nas amostras coletadas na parte mais profunda da camada d'água. A estratificação térmica age sobre estes parâmetros induzindo o aumento das suas concentrações na camada mais profunda.

A demanda de oxigênio é um fator importante na determinação dos ní-

TABELA VI - PARÂMETROS BIOLÓGICOS - REPRESA PAIVA CASTRO

| MESES       | PARÂMETROS |         |      |       |       |        |        |         |         |         |         |         |         |        |       |       |       |
|-------------|------------|---------|------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|
|             | ABR. 79    | MAI.    | JUN. | JUL.  | AGO.  | SET.   | OUT.   | NOV.    | DEZ.    | JAN. 80 | FEV.    | MAR.    | ABR.    | MAI.   | JUN.  | JUL.  |       |
| BACT.       | a          | 68      | -    | 1100  | 43    | 990    | 140    | 142     | 460     | 93      | 460     | 93      | 240     | 43     | 43    | 23    | 93    |
|             | m          | 75      | -    | 23    | 95    | 43     | 200    | 200     | 240     | 43      | 23      | 39      | 43      | 93     | 43    | 43    | 460   |
|             | f          | 15      | -    | 150   | 43    | 150    | 240    | 97      | 93      | 93      | 43      | 23      | 93      | 30     | 23    | 43    | 240   |
| MMP de Coll | a          | 9       | -    | <3    | <3    | 9      | 43     | 45      | 93      | 23      | 21      | 15      | 23      | 9      | <3    | 3     | 43    |
|             | m          | 23      | -    | <3    | <3    | <3     | 4      | 15      | 43      | <3      | 9       | 7       | 23      | 21     | <3    | <3    | 15    |
|             | f          | <3      | -    | <3    | <3    | 9      | 9      | 4       | 11      | 9       | 4       | 4       | 4       | <3     | <3    | <3    | 23    |
| CLOROFILLA  | a          | 15,50   | -    | 3,742 | 1,604 | 5,081  | 2,138  | 14,969  | 16,038  | 9,623   | 17,107  | 12,296  | 6,950   | 3,742  | 1,069 | 0,535 | 0,535 |
|             | m          | 18,18   | -    | 1,069 | 1,069 | 1,604  | 1,604  | 13,900  | 13,900  | 5,346   | 1,069   | 3,742   | 5,346   | 4,811  | 1,069 | 1,069 | 0     |
|             | f          | 2,14    | -    | 1,604 | 0     | 0      | 0      | 0       | 0,535   | 2,673   | 3,742   | 1,069   | 2,138   | 0      | 1,069 | 1,069 | 0,810 |
| PEOFITINALA | a          | 2,66    | -    | 0     | 0,267 | 1,604  | 0      | 1,129   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1,871  | 1,925 | 0,508 | 2,833 |
|             | m          | 0       | -    | 1,176 | 1,550 | 2,887  | 0,642  | 1,818   | 2,940   | 1,764   | 2,673   | 2,285   | 0       | 0,428  | 0     | 0     | 4,116 |
|             | f          | 0,52    | -    | 0,267 | 7,431 | 2,994  | 2,994  | 5,286   | 2,833   | 0       | 0       | 2,899   | 0       | 5,560  | 0     | 0     | 3,742 |
| FITO        | a          | 5290,5  | -    | 221,5 | 172,5 | 466,5  | 295,5  | 6164,0  | 3760,0  | 25070,0 | 27370,5 | 15540,5 | 17960,0 | 8150,5 | 281,5 | 244,5 | 268,5 |
|             | m          | 4751,5  | -    | 245,5 | 189,0 | 381,0  | 206,0  | 4891,5  | 4040,0  | 1119,5  | 405,5   | 321,0   | 479,5   | 795,0  | 98,0  | 241,5 | 129,5 |
|             | f          | 1449,0  | -    | 250,5 | 173,0 | 275,5  | 275,5  | 99,5    | 98,5    | 40,5    | 127,0   | 83,5    | 74,5    | 71,5   | 274,5 | 129,5 | 120,0 |
| PLANTON     | a          | 29823,5 | -    | 998,5 | 596,5 | 1490,0 | 1045,0 | 24212,0 | 13880,5 | 10270,5 | 77650,0 | 5647,0  | 7043,5  | 2995,0 | 540,0 | 626,0 | 659,5 |
|             | m          | 21560,5 | -    | 769,5 | 446,5 | 1467,5 | 862,0  | 19420,5 | 16031,0 | 3070,0  | 1511,0  | 917,5   | 1580,5  | 2240,0 | 269,5 | 519,0 | 369,0 |
|             | f          | 4496,0  | -    | 740,0 | 447,5 | 845,0  | 890,5  | 346,5   | 240,5   | 113,0   | 522,0   | 408,0   | 344,0   | 277,0  | 951,5 | 404,0 | 997,0 |

PONTO 6

a - superfície

m - altura mediana

f - profundidade máxima











. não foi feito a análise

- não foi feita a coleta

GRAFICO 5

Paiva Castro

Julho / 79

|   |                   |                        |                        |
|---|-------------------|------------------------|------------------------|
|  | Microrganismos    | UPA/ml                 | $\times 10^3$          |
|  | N-NH <sub>3</sub> | mg/l N                 | $\times 10^1$          |
|  | Alcalinidade      | mg/l CaCO <sub>3</sub> | $\times 10$            |
|  | Condutividade     | $\mu\text{mho/cm}$     | $\times 10$            |
|  | Clorofila-a       | $\mu\text{g/l}$        | $\times 1$             |
|  | Feofitina-a       | $\mu\text{g/l}$        | $\times 1$             |
|  | H <sub>2</sub> S  | mg/l S                 | $\times 10^{-1}$       |
|  | N-NO <sub>3</sub> | mg/l N                 | $\times 10^{-1}$       |
|  | Temperatura       | $^{\circ}\text{C}$     | $+ 10^{\circ}\text{C}$ |
|  | O.D.              | mg/l O <sub>2</sub>    | $\times 1$             |

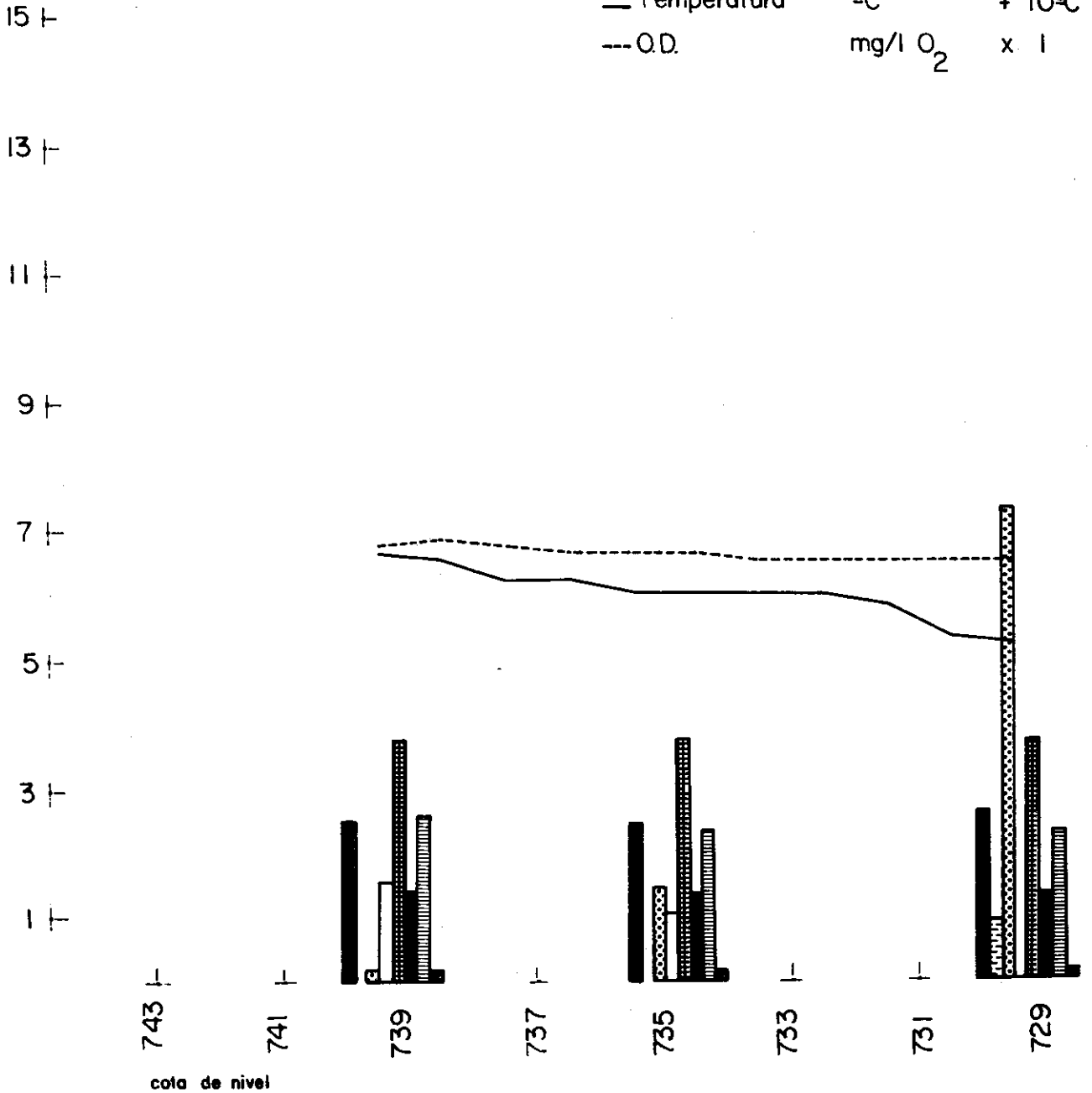


GRAFICO 6

Paiva Castro

Julho / 79

|   |                             |         |                    |
|---|-----------------------------|---------|--------------------|
| □ | Turbidez                    | NTU     | x 5                |
| ▒ | Ferro                       | mg/l Fe | x 2                |
| ■ | Manganes                    | mg/l Mn | x 1                |
| ▤ | P-PO <sub>4</sub> sol total | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ▥ | P-PO <sub>4</sub> (orto)    | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ▧ | P-PO <sub>4</sub> total     | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ■ | N - Kjeldahl                | mg l N  | x 1                |

3 +  
2 +  
+ +  
743 +  
741 +  
739 +  
737 +  
735 +  
733 +  
731 +  
729 +

cota de nivel

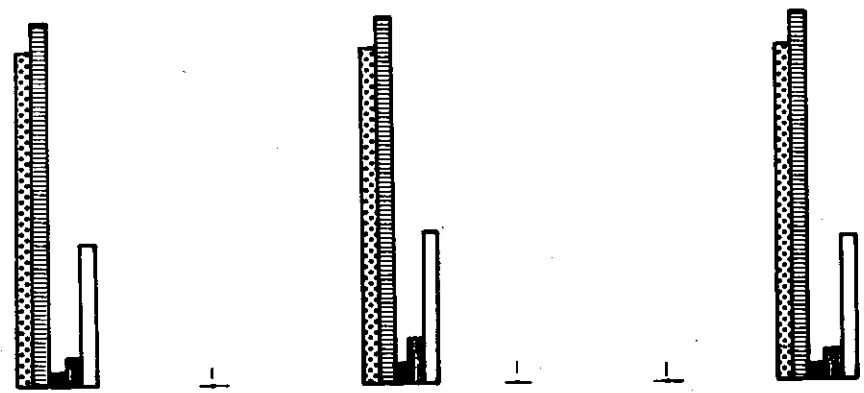










GRAFICO 15

Paiva Castro

Dezembro / 79

|   |                   |                        |                  |
|---|-------------------|------------------------|------------------|
|  | Microrganismo     | UPA/ml                 | $\times 10^3$    |
|  | N-NH <sub>3</sub> | mg/l N                 | $\times 10^{-1}$ |
|  | Alcalinidade      | mg/l CaCO <sub>3</sub> | $\times 10$      |
|  | Condutividade     | $\mu\text{mho/cm}$     | $\times 10$      |
|  | Clorofila-a       | $\mu\text{g/l}$        | $\times 1$       |
|  | Feofitina-a       | $\mu\text{g/l}$        | $\times 1$       |
|  | H <sub>2</sub> S  | mg/l                   | $\times 10^{-1}$ |
|  | N-NO <sub>3</sub> | mg/l N                 | $\times 10^{-1}$ |
| —   | Temperatura       | °C                     | + 10°C           |
| ---   | O. D.             | mg/l O <sub>2</sub>    | $\times 1$       |

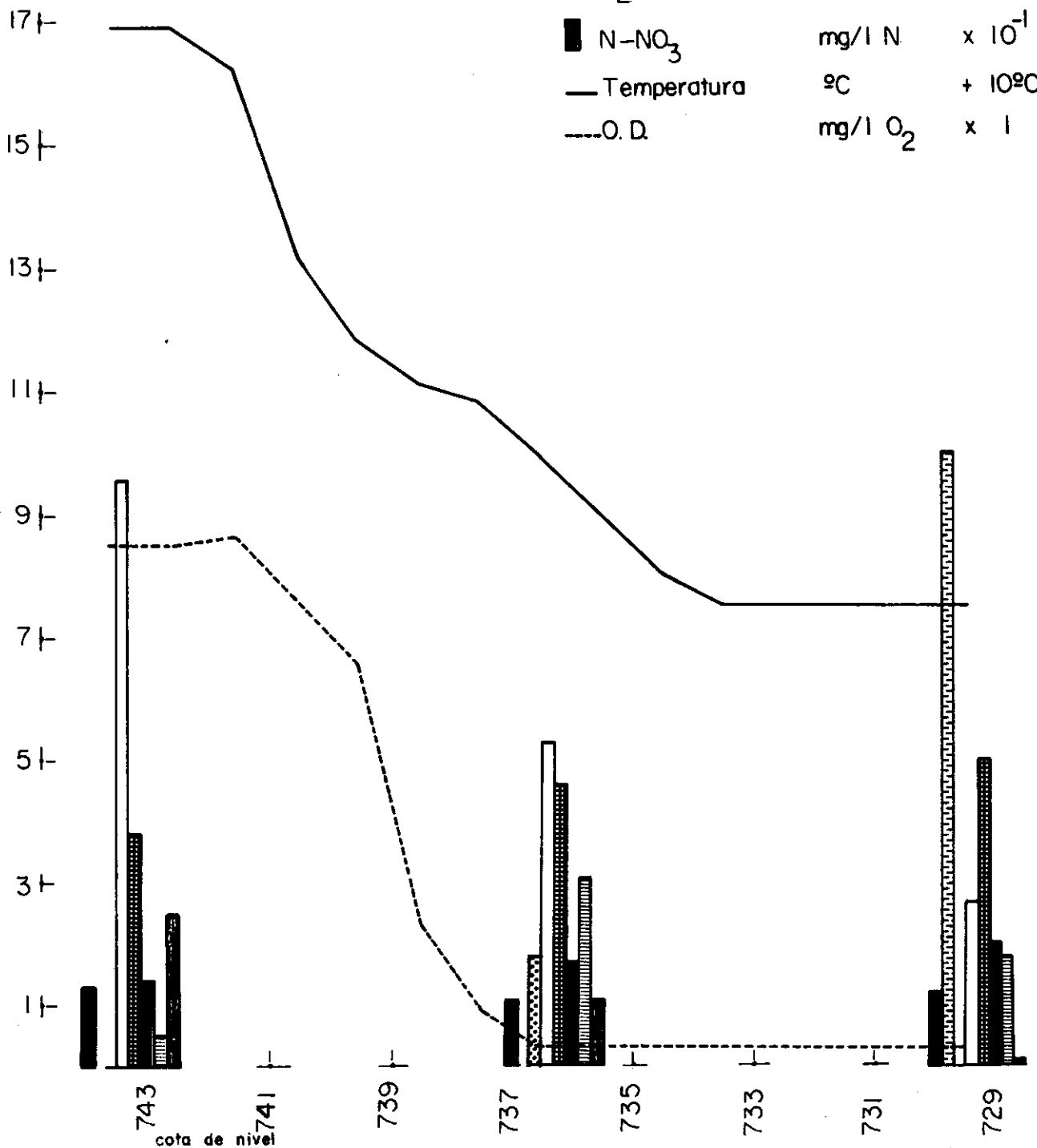









GRAFICO 16

Paiva Castro

Dezembro / 79

|   |                              |         |                    |
|---|------------------------------|---------|--------------------|
|  | Turbidez                     | NTU     | x 5                |
|  | Ferro                        | mg/l Fe | x 2                |
|  | Manganês                     | mg/l Mn | x 1                |
|  | P-PO <sub>4</sub> sol. total | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | P-PO <sub>4</sub> (orto)     | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | P-PO <sub>4</sub> total      | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | N- Kjeldahl                  | mg/l N  | x 1                |

3

2

1

743

cota de nível

741

739

737

735

733

731

729

23-

GRAFICO 21

Paiva Castro

Março / 80

21-

19-

17-

15-

13-

11-

9-

7-

5-

3-

1-

□ Microrganismos

▨ N-NH<sub>3</sub>

■ Alcalinidade

▤ Condutividade

□ Clorofila-a

▨ Feofitina-a

▨ H<sub>2</sub>S

■ N-NO<sub>3</sub>

— Temperatura

--- Q.D.

UPA/ml x 10<sup>3</sup>

mg/l N x 10<sup>-1</sup>

mg/l CaCO<sub>3</sub> x 10

µmho/cm x 10

µg/l x 1

µg/l x 1

mg/l S x 10<sup>-1</sup>

mg/l N x 10<sup>-1</sup>

°C + 10°C

mg/l x 1

cota de nível

743

741

739

737

735

733

731

729



GRAFICO 22

Paiva Castro

Março / 80

|   |                              |         |                    |
|---|------------------------------|---------|--------------------|
| □ | Turbidez                     | NTU     | x 5                |
| ■ | Ferro                        | mg/l Fe | x 2                |
| ■ | Manganes                     | mg/l Mn | x 1                |
| ▨ | P-PO <sub>4</sub> sol. total | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ▩ | P-PO <sub>4</sub> (orto)     | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ▧ | P-PO <sub>4</sub> total      | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
| ■ | N - Kjeldahl                 | mg/l N  | x 1                |

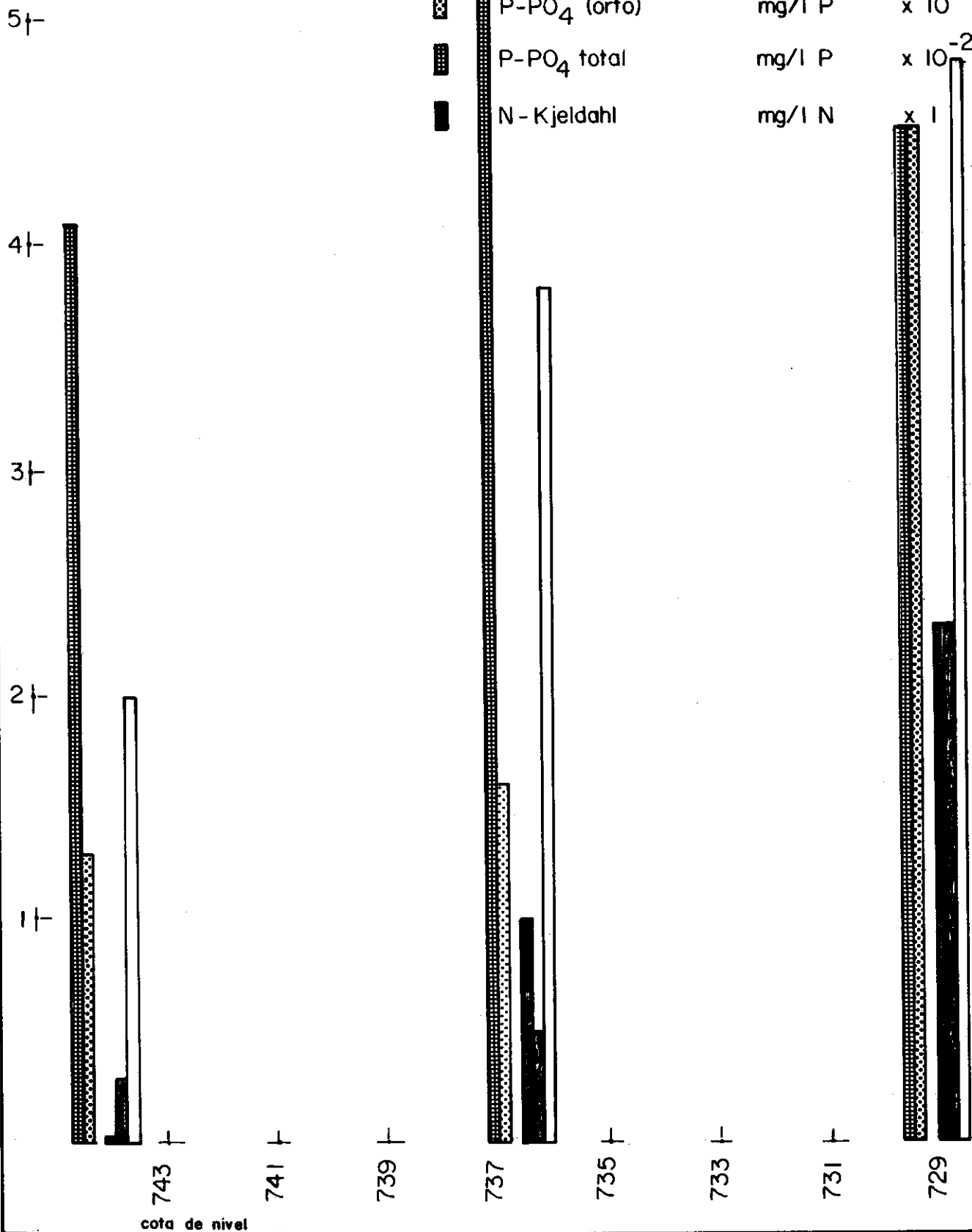


GRAFICO 25

Paiva Castro

Maio / 80

- Microrganismo UPA/ml  $\times 10^3$
- ▨ N-NH<sub>3</sub> mg/l N  $\times 10^{-1}$
- Alcalinidade mg/l CaCO<sub>3</sub>  $\times 10$
- ▤ Condutividade umho/cm  $\times 10$
- Clorofila-a  $\mu\text{g/l} \times 1$
- ▣ Feofitina-a  $\mu\text{g/l} \times 1$
- ▧ H<sub>2</sub>S mg/l S  $\times 10^{-1}$
- N-NO<sub>3</sub> mg/l N  $\times 10^{-1}$
- Temperatura °C  $+ 10^\circ\text{C}$
- O.D. mg/l O<sub>2</sub>  $\times 1$

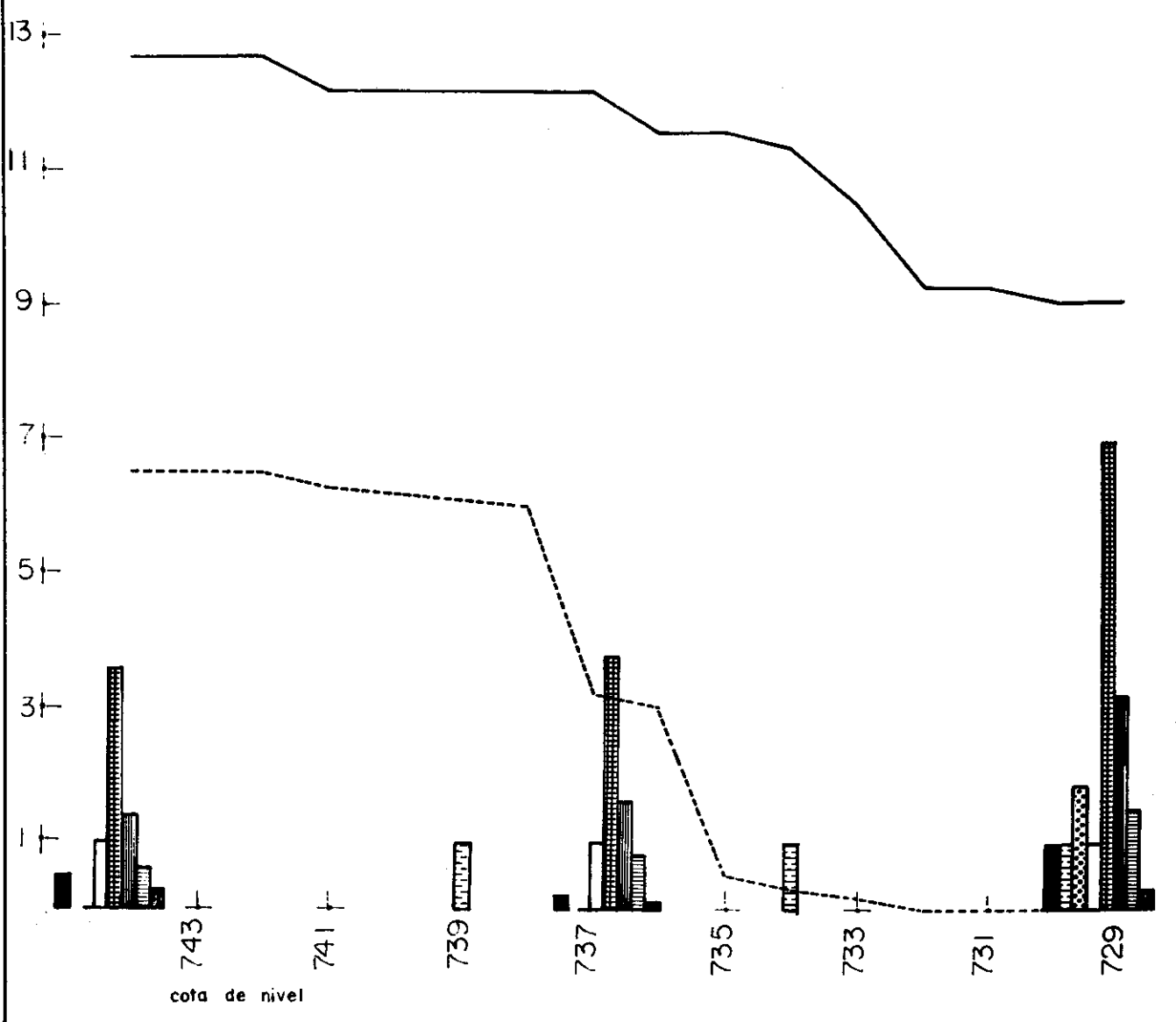









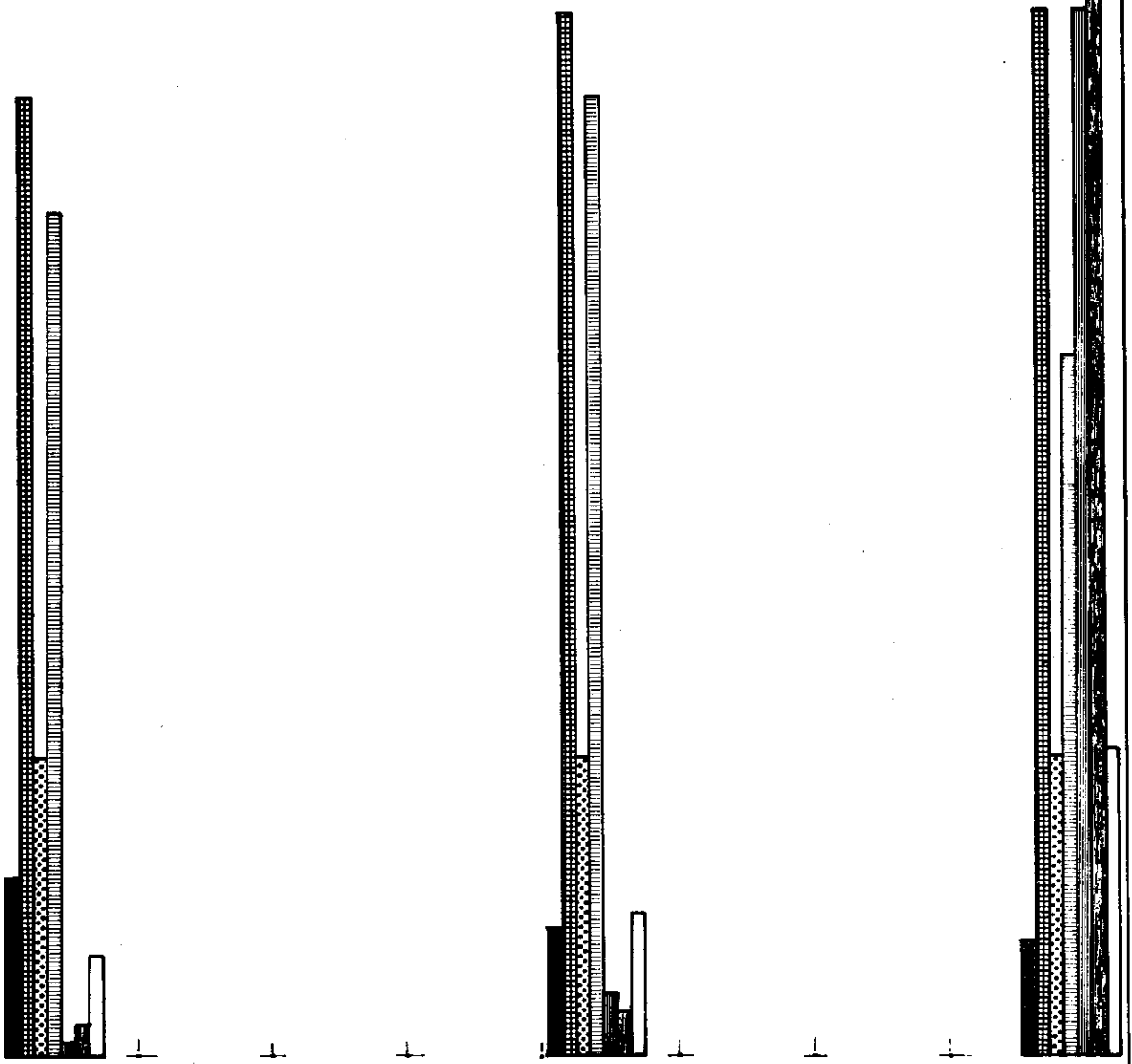
GRAFICO 26

Paiva Castro

Maio / 80

|   |                              |         |                    |
|---|------------------------------|---------|--------------------|
|   | Turbidez                     | NTU     | x 5                |
|  | Ferro                        | mg/l Fe | x 2                |
|  | Manganes                     | mg/l Mn | x 1                |
|  | P-PO <sub>4</sub> sol. total | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | P-PO <sub>4</sub> (orto)     | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | P-PO <sub>4</sub> total      | mg/l P  | x 10 <sup>-2</sup> |
|  | N-Kjeldahl                   | mg/l N  | x 1                |

6  
5  
4  
3  
2  
1



cota de nivel 743 741 739 737 735 733 731 729

veis de oxigênio dissolvido apresentados. A interface água-sedimento apresenta demanda de oxigênio significativa. Esta demanda é biológica e química.

A demanda biológica é devida à taxa de respiração da comunidade existente no meio bentônico e a demanda química inclui todas as substâncias reativas, entre elas o ferro e o manganês e o sulfeto de hidrogênio (26).

Em condições de igualdade de concentrações de ferro e manganês perante certa concentração de oxigênio dissolvido, devido ao potencial de redução de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  ser menor do que  $Mn^{3+}$  a  $Mn^{2+}$  a oxidação do ion ferroso dá-se preferencialmente à oxidação do ion manganoso ao manganico. Em condições anóxicas, a redução  $Mn^{3+}$  a  $Mn^{2+}$  ocorre de maneira preferencial sobre  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ . Nestas condições o teor de  $Mn^{2+}$  é maior que o de  $Fe^{2+}$ , no hipolimnion, mesmo quando o ferro apresenta-se em concentração maior (27).

Ocorre aumento do nitrogênio amoniacal na camada mais profunda, em detrimento da concentração de nitrogênio nítrico.

Durante a estratificação térmica o nitrogênio amoniacal não sofre o processo de nitrificação por causa da ausência de oxigênio. Neste meio as bactérias nitrificadoras não sobrevivem.

#### 4 (A). MICROORGANISMOS

O período de desenvolvimento intenso de algas coincide com os meses de verão. O mês de Dezembro caracterizou-se pelo florescimento de algas do grupo das cloríceas, pertencentes ao genero *Roya sp.* No período de ausência de estratificação verifica-se a perfeita homogenidade qualitativa e quantitativa da flora aquática.

#### 4 (B). CONDUTIVIDADE

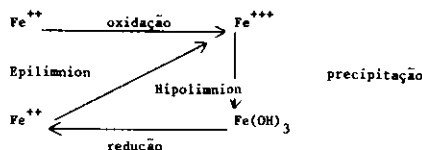
A condutividade mede a concentração de eletrólitos representados pelos ácidos, bases ou sais dissolvidos na água. Quanto maior a concentração de eletrólitos maior é a produtividade biológica (28). A condutividade é um parâmetro correlacionado aos sólidos dissolvidos totais. Reyder (1961-1974) afirma que o valor de sólidos dissolvidos totais (SDT), utilizado para o cálculo do Índice Morfoedáfico (MEI) pode ser substituído pelo valor da alcalinidade total ou da condutividade, quando os dados de sólidos dissolvidos totais não foram levantados. O Índice Morfoedáfico serve para estimar a

produção de peixes em corpos d'água e pode ser definido como SDT, onde z é a profundidade média.

Durante todo o período em estudo na represa Paiva Castro, observamos que a condutividade apresentou resultados mais elevados na camada inferior (hipolimnion), nos meses em que a estratificação térmica foi observada. Com a ausência da estratificação ocorre a homogeneização do parâmetro em questão.

#### 4 (C). FERRO E MANGANÊS

O ferro é um elemento vital nos pigmentos respiratórios de muitos animais, além de tomar parte em várias reações químicas na água. O ferro participa de sistemas de oxido-redução como no esquema:

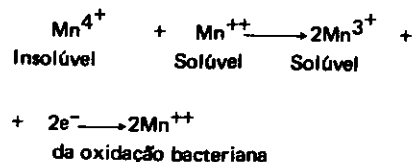


e pode ainda reagir com carbonatos e fosfatos (3).

O ferro bivalente  $Fe^{++}$  é solúvel somente em condições anaeróbicas. Na presença de oxigênio a forma trivalente passa a predominar na forma de complexo coloidal em combinação com outros ions inorgânicos. Durante o verão, no hipolimnion, e graças à ausência de oxigênio a forma férrica ( $Fe^{+++}$ ) é reduzida à forma ferrosa ( $Fe^{++}$ ), solubilizando-se.

Não é simplesmente a ausência do oxigênio que induz a transformação  $Fe^{+++}$  a  $Fe^{++}$  mas sim, na sua ausência, a decomposição orgânica forma compostos orgânicos que induz a redução do ferro. Em lagos oligotróficos o hipolimnion é rico em oxigênio e o ferro apresenta-se sob a forma de complexos férricos não solúveis. Em lagos eutróficos, no período de estagnação do verão, o hipolimnion apresenta ferro em solução (33).

Ingols e Wilroy (34) propõem o seguinte esquema para o manganês:



e sugerem que a oxidação bacteriana está intimamente ligada com o ciclo do manganês e que o mesmo pode ser transformado intracelularmente.

Durante a estratificação térmica as concentrações de Mn apresentam aumento considerável na camada mais

profunda. Na camada superior predominam concentrações baixas praticamente durante todo ano. Observa-se aumento na camada do epilimnion e do metalimnion justamente no período de "Turnover" quando a camada d'água vai perdendo a característica de estratificação.

#### 4 (D). NUTRIENTES

São elementos que induzem o crescimento de microorganismos. No meio aquático, os nutrientes requeridos em quantidades razoáveis são o carbono, o hidrogênio, o enxofre, o cálcio, o magnésio, o potássio, o oxigênio, o nitrogênio e o fósforo.

Durante o período de estratificação térmica, grandes quantidades de nutrientes permanecem no hipolimnion onde sofrem processos de decomposição. Esses nutrientes não se apresentam disponíveis ao desenvolvimento das algas, nas camadas superiores. Entretanto, no período de homogeneização esses nutrientes enriquecem todas as camadas e tornam-se disponíveis para a assimilação pelas algas.

O nitrogênio tem papel importante na síntese de proteínas. A origem dos compostos nitrogenados em águas naturais pode ser autóctona ou alóctona.

Durante o período de estagnação, o hipolimnion de lagos eutróficos torna-se enriquecido com amônia proveniente da decomposição do material sintetizado na zona trofófica. O nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito e este a nitrato através de bactérias nitrificadoras. É o nitrato a forma mais solicitada pelas plantas aquáticas. O conteúdo de nitratos no estrato superior tende a diminuir durante a primavera e o verão quando nota-se a alta produtividade.

Em lagos eutróficos, durante a estratificação do verão, o conteúdo de fósforo no hipolimnion aumenta significativamente seguindo a depleção do oxigênio. Os fatores envolvidos neste aumento não são totalmente conhecidos.

O fósforo pode-se desprender do complexo ferro-fósforo que é insolúvel na presença de oxigênio. Na ausência do oxigênio o composto férrico é reduzido a formas de ferro solúvel liberando assim o fósforo. Uma outra explicação é que, na presença do oxigênio, o fósforo é absorvido em compostos básicos de ferro na microzona oxidada do lodo. A remoção do oxigênio desencadeia a reação na qual o ion férrico é reduzido e o fósforo é liberado. Ambos os mecanismos ocor-

rem e presença ou ausência do oxigênio é um fator crítico (34).

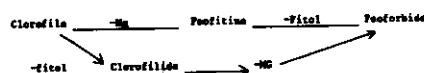
Dentro de corpo d'água o fósforo participa de processos biológicos, físicos e químicos os quais mantêm o fosfato sob a forma de complexos orgânicos ou sob a forma solubilizada, sofrendo conversões de uma forma para outra continuamente.

O escoamento a jusante remove tanto formas solúveis como as formas orgânicas do fósforo. Uma certa quantidade deposita-se no fundo porém parte dela é recirculada naturalmente.

#### 4 (E). CLOROFILA

O conteúdo da clorofila das plantas está relacionado ao material orgânico total produzido pelas plantas. Desta forma a concentração de clorofila na água serve como um índice de produtividade de algas. A produção de clorofila e portanto o seu conteúdo nas células, varia consideravelmente com a luz, temperatura, nutrientes e outros fatores. Existe uma relação constante entre fotossíntese e clorofila-a, por esta razão é feita a determinação deste parâmetro.

Além do pigmento citado acima, produtos da degradação da clorofila estão geralmente presentes. Yentsch (1967) afirma que podem ocorrer dois caminhos na degradação da clorofila (36).



A perda do grupo fitol resulta em pouca ou nenhuma modificação na absorção da parte visível do espectro de tal forma que a substância clorofilide não se torna distinguível da clorofila. Nas células mortas, entretanto, o Mg é removido rapidamente da molécula de clorofila ou da molécula de clorofilide, resultando numa troca da banda azul em direção a comprimentos de ondas maiores. Yentsch demonstrou também um aumento na proporção de feofitina com o aumento da profundidade.

Existem vários tipos de clorofila, entretanto, as clorofilas-a, b e c são as mais conhecidas e dentre estas a a é a mais abundante. Em algas planctônicas a clorofila a expressa aproximadamente de 1 a 2% do peso seco do material orgânico.

A molécula de clorofila, dependendo das condições do meio, tais como temperatura, mudança do pH, intensidade luminosa, mostra-se bastante instável dando origem a produtos de degradação. A feofitina-a é o produ-

to de degradação de clorofila-a e pelo fato dela interferir nas medidas do pigmento clorofila-a é que é desejável a sua quantificação. A relação entre clorofila-a e a feofitina-a é um bom indicador do estado fisiológico do fitoplancton.

#### 5 - RECOMENDAÇÕES

Verificamos que o fenômeno da estratificação térmica ocorre na represa Paiva Castro e conseqüentemente favorece as alterações físico-químicas e biológicas. Durante cinco meses anuais, podemos considerar os seis metros mais profundos da camada d'água completamente anóxico, o que impede que organismos que necessitam de oxigênio aí sobrevivam. A demanda de oxigênio no fundo do reservatório depende do tratamento que o fundo deste reservatório recebeu ao ser preenchido, da carga de matéria orgânica alóctona recebida e da quantidade de matéria orgânica aí depositada anualmente em função da própria produtividade observada.

A condição de ausência de oxigênio é bastante prejudicial quando a tomada d'água está localizada nas cotas mais profundas da represa.

No caso específico da represa Paiva Castro a tomada de água para o tratamento é feita em um de seus braços onde a profundidade não permite a estagnação da camada inferior, pelo menos por tão longo período. Entretanto, nota-se já o efeito de concentrações indesejáveis de ferro e manganês, neste braço e seus efeitos maléficos à estação de tratamento d'água. Acrescente-se ainda que existe um período crítico em que todos os parâmetros observados sofrem homogeneização por todo o corpo d'água podendo, eventualmente, atingir concentrações, embora homogêneas, bastante altas.

Na barragem onde se notam concentrações bastante indesejáveis de nitrogênio amoniacal, de sulfeto de hidrogênio e principalmente de ferro e manganês, sugerimos que se faça anualmente e durante o período mais apropriado, uma descarga de fundo com a finalidade de promover uma limpeza, descarregando parte do material acumulado, propiciando assim uma qualidade de água melhor para a represa, no momento que ela se homogeneiza (durante os meses de junho e julho).

Embora o período mais apropriado para efetuar-se esta descarga seria quando o extravasor estivesse vertendo a fim de que se desse a mistura da água do hipolimnion com o epi-

limnion, deve-se considerar que na represa Paiva Castro isto é impossível. Esta impossibilidade se dá pelo fato de que durante todo o ano em nenhum período tem se dado extravasão pelo vertedouro superficial pois o consumo pela ETA de tratamento não o permite. Entretanto deve-se levar em consideração a orientação para o caso da represa Atibainha. Evidentemente é necessário tomar-se as devidas precauções e verificar-se a viabilidade daquela descarga ser totalmente efetuada com água apenas do hipolimnion ou se seria conveniente uma descarga mista, ou seja, que tivesse a contribuição da camada superior para que não afetasse a ecologia a jusante desta represa, ou que não afetasse um eventual tratamento e reaproveitamento desta água para outras comunidades. De qualquer forma a descarga de fundo, se possível, beneficiaria em muito a qualidade da água, prolongando sua vida dentro dos padrões recomendáveis para o tratamento. O processo eliminaria grande parte de nutrientes que não reciclariam quando houvesse a homogeneização na represa, contribuindo assim para que a autoeutrofização, processo irreversível e que ocorre naturalmente após o represamento, fosse caminhando a passos bem mais lentos. Thomas, Eugene A, 1965, considera a eliminação das águas hipolimétricas o processo de maior eficácia na intervenção artificial nas águas de um lago para o controle da eutrofização (37).

Recomendamos que estudos semelhantes sejam efetuados em todas as represas destinadas ao abastecimento público a fim de se detectar o período e a profundidade mais adequados para eventual descarga do material de fundo, tendo em vista o benefício que esta operação traria aos corpos d'água e às estações de tratamento.

"A captação profunda é considerada a solução para a maioria dos nossos problemas em função do próprio fenômeno da estratificação. A água mais densa seja mais fria (térmica) com maior salinidade ou menor oxigênio dissolvido (químico) ou contendo siltes, argilas e colóides em suspensão tende a ocupar o fundo dos reservatórios. Caso exista uma tomada profunda operando continuamente, a água removida irá provocar um rebaixamento da água superficial proporcional ao volume removido. Dois fenômenos deverão ocorrer simultaneamente: a superfície do reservatório sujeita a processos de redução poderá ser totalmente eliminada pelo rebaixamento

mais rápido do epilimnion e o diferencial de densidade entre a superfície e o fundo se reduz, favorecendo uma maior instabilidade na coluna d'água podendo manter o reservatório misturado, independente da estação do ano" (38).

Proporíamos ainda estudos de destratificação artificial para pequenas represas de abastecimento visto o êxito encontrado neste processo, para melhorar a qualidade da água represada, citado por alguns autores. Barnett (39) afirma que após a destratificação, observa-se uma diminuição na demanda de cloro utilizado no tratamento durante os meses de verão. Por outro lado, pode ocorrer modificação do grupo predominante de algas em consequência da simples destratificação. King (40) afirma que as algas azuis obtêm mais eficientemente o dióxido de carbono, quando este se encontra em baixas concentrações, do que as algas verdes e que elas tendem a predominar quando o pH é alto, como normalmente acontece na camada superficial de lagos eutróficos. Corroborando a afirmação de King, Shapiro (41), através de experiências nas quais promovia o abaixamento do pH e adicionava nutrientes em águas dominadas por algas azuis, obteve uma predominância total de algas verdes. A simples adição de nutrientes e de gás carbônico verificou também uma modificação na predominância para o grupo de algas verdes, que apesar de serem um tan-

to quanto inconvenientes quando em quantidade excessiva, trazem menos problemas para a operação do tratamento, do que nas algas azuis.

Ao se destratificar um lago ocorre, naturalmente, a adição do gás carbônico e a adição de nutrientes o que levaria a uma modificação da flora predominante. Symons (42) também observou que as águas dominadas por floreações de algas azuis, quando totalmente homogêneas, apresentaram o declínio do grupo das algas azuis e a dominância do grupo das algas verdes.

## 6. CONCLUSÕES

a) Modificações físico-químicas e biológicas intensas ocorrem em um corpo d'água represado.

b) Na represa Paiva Castro, verifica-se uma camada anóxica de aproximadamente 6 metros de altura, durante 5 meses por ano.

c) Concentrações indesejáveis de nitrogênio amoniacal, sulfeto de hidrogênio, ferro, manganês, são observadas no período de estagnação.

d) Concentrações muito altas de algas durante o verão e a presença de anoxia nas camadas mais profundas indicam que a represa Paiva Castro está em processo de eutrofização.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(...)

3. SYMONS, J. M. WEIBEL, S.R.; ROBECK, G. G. Impoundment Influ-

ces on Water Quality. J.A.W.W.A. 57:51 (1965).

(...)

25. SHREVE E. C. Jr. Sulfide Problems in Florida J.W.P.C. F. 39:10: 1689 (Oct 1967).

26. WANG, W. Fractionation of Sediment Oxygen Demand Water Research vol. 14, pp 603-612.

27. DELFINO, J.J. and LEE, G.F. Variation of Manganese, Dissolved Oxygen and Related Chemical Parameters in the Bottom Water of Lake Mendota, Wisconsin. Water Res. 5, 1207-1217, 1971.

28. WELCH, P. S. Limnology - 2ª ed. McGraw - Hill Book Company (1952).

(...)

33. REID, G.K. Ecology of Inland Waters and Estuarine, Cap. 10. Dissolved Solids in Natural Waters. Van Nostrand Reinhold Company.

34. INGOLS, R.S. and WILROY, R.D. Mechanism of Manganese Solution in Lake Waters J.A.W.W.A., 55:282 (March 1963).

(...)

36. GOLTERMAN, H. L. Physiological Limnology - série Development in Water Science - Vol. 2 Cap. 13 (Algae and Their Pigments).

37. THOMAS, E. A. Biological Problems in Water Pollution (1965).

38. GOMIDE, L. L. Contribuição Pessoal (1981).

39. BARNETT, R. H. Reservoir Destratification Improves Water Quality Public Works, 102:6:60 (1971).

40. KING, D. L. The Role of Carbon in Eutrofication J.W.P.C.F. 42:12:2035 (1970).

41. SHAPIRO, J. Blue Green Algae: Why They Become Dominant. Science. 179:4071 (1973).

42. SYMONS, J. M. CARSWELL, J. K. and ROBECK, G. G. Mixing of Water Supply Reservoirs for Quality Control J.A.W.W.A. 62:5:322 (1970).