

UM ANO DE FUNCIONAMENTO DA LAGOA DE OXIDAÇÃO DE EFLUENTES.
TENTATIVA DE MODELO MATEMÁTICO.

RESUMO

É analisado o funcionamento durante um ano de uma lagoa de oxidação biológica de uma fábrica de celulose sulfato branqueada de 750 toneladas de capacidade nominal. A lagoa tem uma área de 1.600.000 m² e uma profundidade média de um metro. A água permanece dezesseis dias em tratamento na lagoa antes de ser lançada ao corpo receptor. Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos, cor, condutividade e turbidez.

Foram propostas as equações correspondentes às variações médias desses parâmetros ao longo da lagoa de oxidação, para o início de um estudo da mesma como um reator de fluxo contínuo. É feita a interpretação dos fenômenos ocorridos durante o processo.

1. INTRODUÇÃO

O principal componente do sistema de tratamento de efluentes da Facel, Fábrica de Celulose da Jari Florestal e Agropecuária, situada em Munguba, no município de Almeirim no Estado do Pará é a sua lagoa de oxidação biológica.

Essa lagoa recebe a mistura de todos os efluentes da fábrica de capacidade de 750 toneladas de celulose sulfato branqueada por dia, após o tratamento no clarificador primário, e retém a água em oxidação biológica durante dezesseis dias, antes de lançá-la ao corpo receptor, o rio Jari.

Por decorrência da oxidação as características da água mudam, tendo a lagoa sido projetada para que ao fim do tempo de permanência a água esteja em condições para ser recebida pelo rio, classificado como de classe II pelo SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente - Brasília.

Este trabalho analisa a variação dos seguintes parâmetros de funcionamento da lagoa de oxidação biológica: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos, cor, condutividade e turbidez. A lagoa é considerada para efeitos de cálculo como um reator de fluxo contínuo, apesar de sua descarga ser intermitente, ocorrendo apenas durante os períodos diários de maré vazante do rio.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A figura 1 é um esquema do sistema de lagoas de oxidação, cinzas e emergência da Facel. O sistema de tratamento de efluentes consta de três lagoas intercomunicantes: a de oxidação, a de cinzas e a de emergência.

A área da lagoa de oxidação é de $1.600.000 \text{ m}^2$ e a altura média é de um metro. A capacidade de tratamento é de 96.000 m^3 de água por dia, o que dá um tempo de permanência da água na lagoa igual a 16,6 dias aproximadamente.

A lagoa de cinzas recolhe a água que transporta as cinzas provenientes da queima de madeira para produzir energia e vapor. As cinzas sedimentam e serão aproveitadas para adubo e a água usada para diluição do efluente geral da fábrica após tratamento no clarificador e para diluição do efluente da lagoa. A lagoa de emergência é mantida seca e só é empregada em caso de interrupções no sistema, como algum acidente no clarificador. O efluente pode ficar retido nessa lagoa e depois bombeado gradativamente para o tratamento primário ou então adicionado gradualmente à lagoa de oxidação biológica.

A lagoa de oxidação tem uma forma amebóide. É dividida ao meio por um dique central e por braços que funcionam como chicanas, dirigindo o curso do líquido e aumentando a área de circulação e o tempo de retenção. Evitam também que parte da água tenha em circuito preferencial e permaneça no sistema por tempo insuficiente para o tratamento.

A primeira porção da lagoa de oxidação recebe o despejo de 3.800 m^3 por dia de água proveniente da lagoa de cinzas para diluição e homogeneização.

A última porção também recebe efluentes da lagoa de cinzas para fins de diluição.

MÉTODO DE TRABALHO

Para o levantamento de dados foram feitas amostragens semanais na lagoa todas as quintas-feiras a partir das 08:30 horas até às 11:00 horas da manhã no período de 18 de setembro de 1979 a 30 de outubro de 1980.

A amostragem foi feita sempre na mesma hora para minimizar o efeito do ciclo de respiração da flora da lagoa nos ensaios. Foi usada sempre uma canoa de remos para não perturbar o regime de fluxo laminar da água amostrando-se sempre a 40cm de profundidade.

Foram escolhidos oito pontos fixos de amostragem, distanciados entre si pelo espaço percorrido pela água em dois dias.

Assim, no ponto (1) a água está na lagoa por 2 dias, tendo a água proveniente do canal já entrado em equilíbrio com a da lagoa de cinzas. No ponto (2) a água está na lagoa por 4 dias, no ponto 3 por 6 dias e assim por diante.

Os parâmetros amostrados foram temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio BOD₅, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos, cor, condutividade e turbidez.

Os métodos empregados para análise estão citados na bibliografia. As médias aritméticas dos resultados das determinações obtidas em cada um dos pontos da lagoa no período compreendido entre 18 de setembro de 1979 e 30 de outubro de 1980 estão registradas na tabela (1).

Nessa tabela estão também expressos os pontos de máximo e de mínimo para os respectivos valores no decorrer do período.

A partir desses resultados foi feita a correlação da variação dos vários parâmetros em função do tempo usando o método da superfície de soma dos quadrados para a avaliação da curva que melhor se adaptasse aos dados conseguidos, usando-se um computador Hewlett Packard modelo 97.

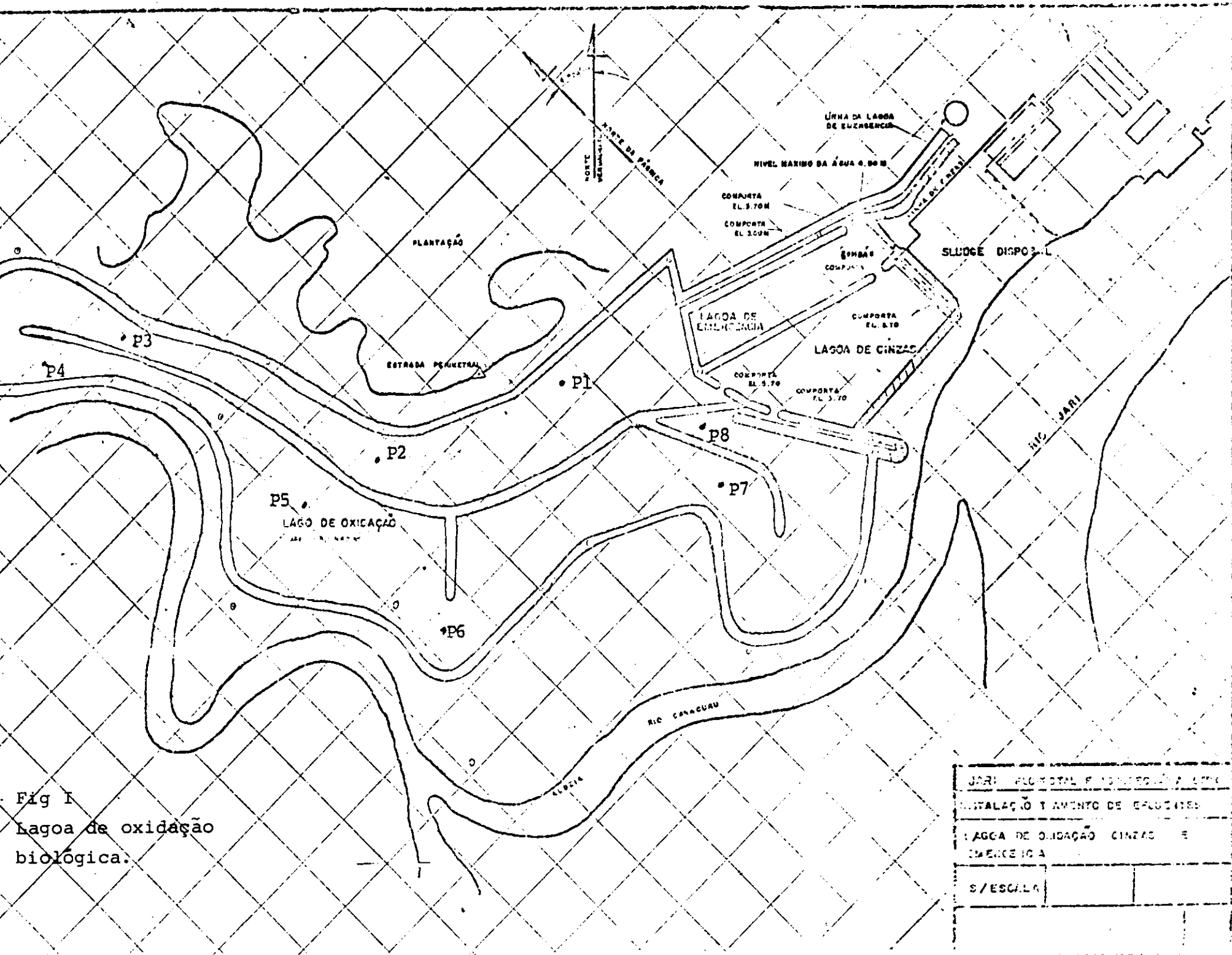


Fig 1
Lagoa de oxidação
biológica.

JARI	PLANTAS	PROJEÇÃO	1:500
INSTALAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE EFUECIES			
LAGOA DE OXIDAÇÃO CINZAS E EMERGÊNCIA			
S/ESCALA			

Pontos de Amostragem		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperat. (°C)	Max	41.0	41.0	39.0	39.0	37.0	37.0	36.0	35.0	
	Med	35.98	34.34	33.18	32.80	31.96	31.73	31.13	30.53	
	Min	32.5	31.5	30.0	30.0	29.0	29.0	29.0	29.0	
pH	Max	9,1	9,1	8,7	7,6	7,7	7,8	7,7	7,6	
	Med	7.76	7.48	7,32	7,29	7,42	7,48	7,49	7,49	
	Min	6,2	6,5	6,8	6,9	7,2	7,1	7,0	7,1	
Oxigênio dissol- -DO (ml/l)	Max	2,50	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00	3,20	5,0	
	Med	0,69	0,70	0,87	0,93	0,96	1,07	1,19	1,34	
	Min	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	
Oxigênio dissol- -DO (mgO ₂ /l)	Max	207,5	116,2	109,4	89,0	79,3	58,2	62,0	35,1	
	Med	100,9	77,9	64,9	59,7	40,8	36,6	34,5	27,3	
	Min	58,9	43,3	46,0	36,1	16,6	19,2	17,4	12,6	
Sólidos em suspensão (ml/l)	Max	280	240	232	224	215	208	200	207	
	Med	188,1	165,6	147,4	140,3	129,1	124,9	117,3	108,0	
	Min	79,9	79,9	79,9	71,9	47,9	47,9	47,9	23,9	

Tabela - 1

Suspensos (mg/l)	Max	196	88	53,2	47,8	59	32	20	20
	Med	91,21	33,34	26,07	18,40	18,24	11,80	9,20	9,00
	Min	45	15,6	5,6	4	3	4	3,2	3,2
Sólidos em Pt/l)	Max	4200	3600	2840	2800	2800	2800	2600	2200
	Med	2422	2266	2136	1913	1994	1996	1820	1717
	Min	1400	1320	1300	1100	1000	1000	1100	1100
Condutividade (µmhos/cm)	Max	2000	2000	2000	2000	1980	2090	2090	2050
	Med	1518	1580	1624	1586	1644	1625	1650	1637
	Min	900	980	1200	1200	1300	1340	1350	1300
Dureza (Ftu)	Max	400	340	320	300	280	280	260	255
	Med	333	270	253	215	212,5	207	187,5	180
	Min	270	180	180	160	170	150	130	125

Tabela - 1
(continuação)

LAGOA DE OXIDAÇÃO BIOLÓGICA:

Determinações nos oito pontos de amostragem

no período de 18 de setembro de 1979 a 30 de outubro de 1980

TEMPERATURA

$$r^2 = 0,9914$$

$$T = 36,0591 - 2,5293 \ln \frac{t}{2}$$

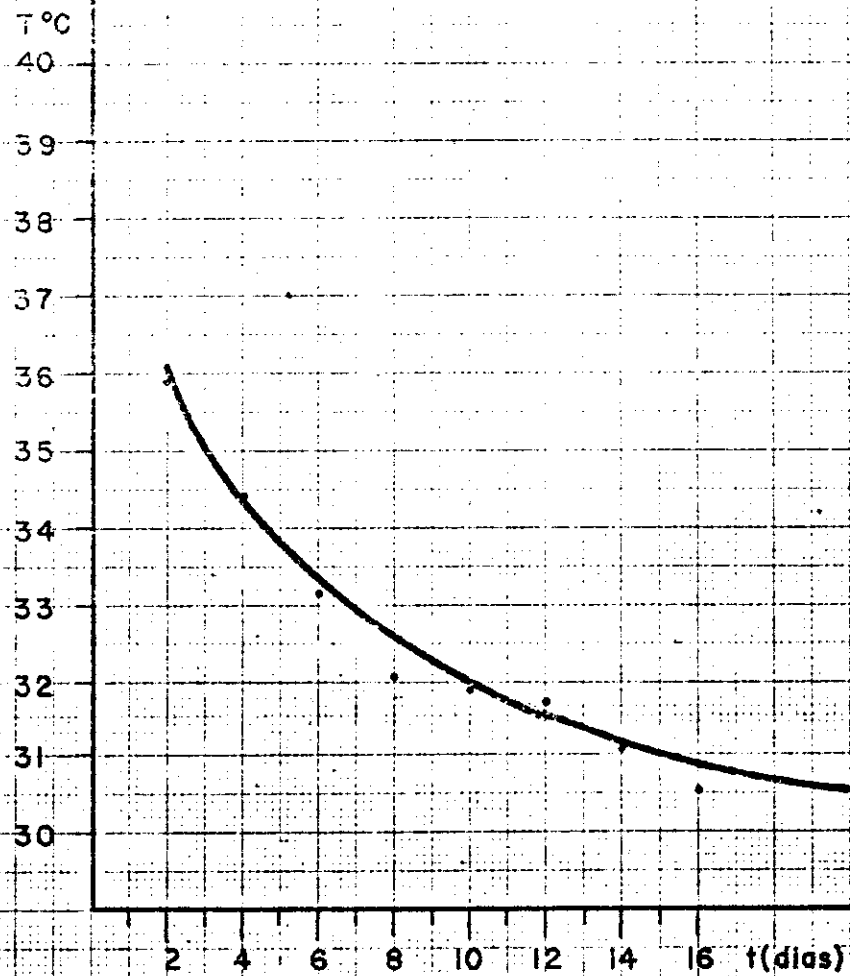


Fig. 2

Lagoa de oxidação biológica.

Variação da temperatura em função do tempo de permanência.

PH

8.00

7.90

7.80

7.70

7.60

7.50

7.40

7.30

7.20

7.10

7.00

PH

t=0 até t=8 $r^2=0,9816$

$PH = 7,6604 - 0,2805 \ln \frac{t}{2}$

depois de t=8 $r^2=0,9186$

$PH = 7,3104 + 0,1291 \ln \frac{(t-8)}{2}$

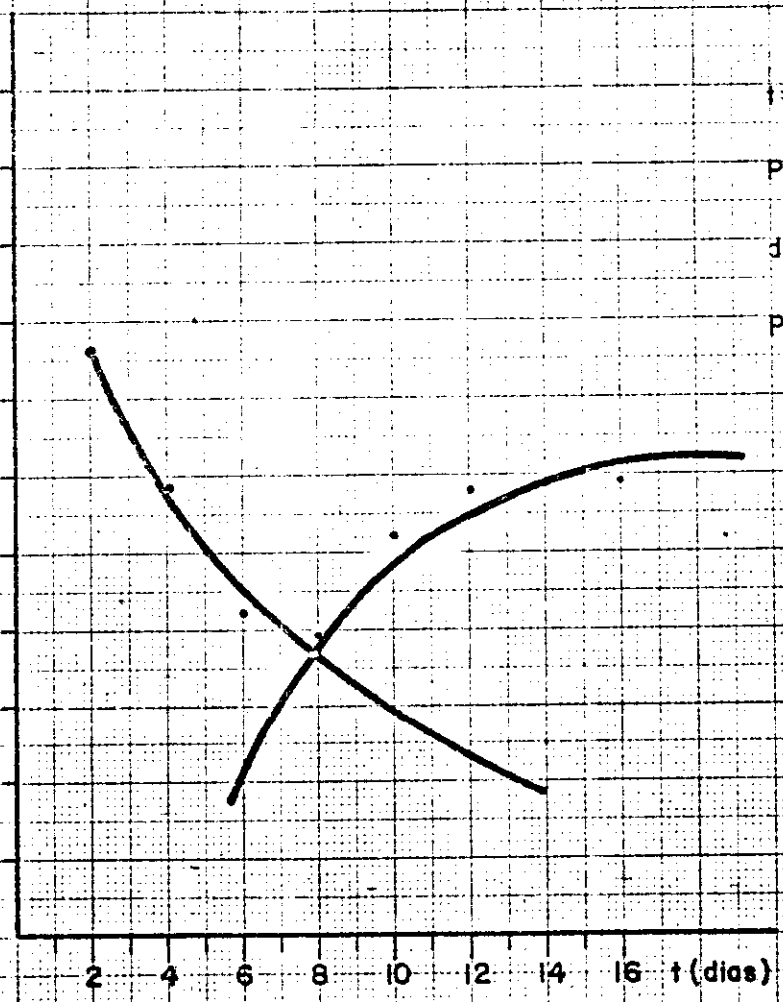


Fig. 3

Lagoa de oxidação biológica.
Variação do pH em função do
tempo de permanência.

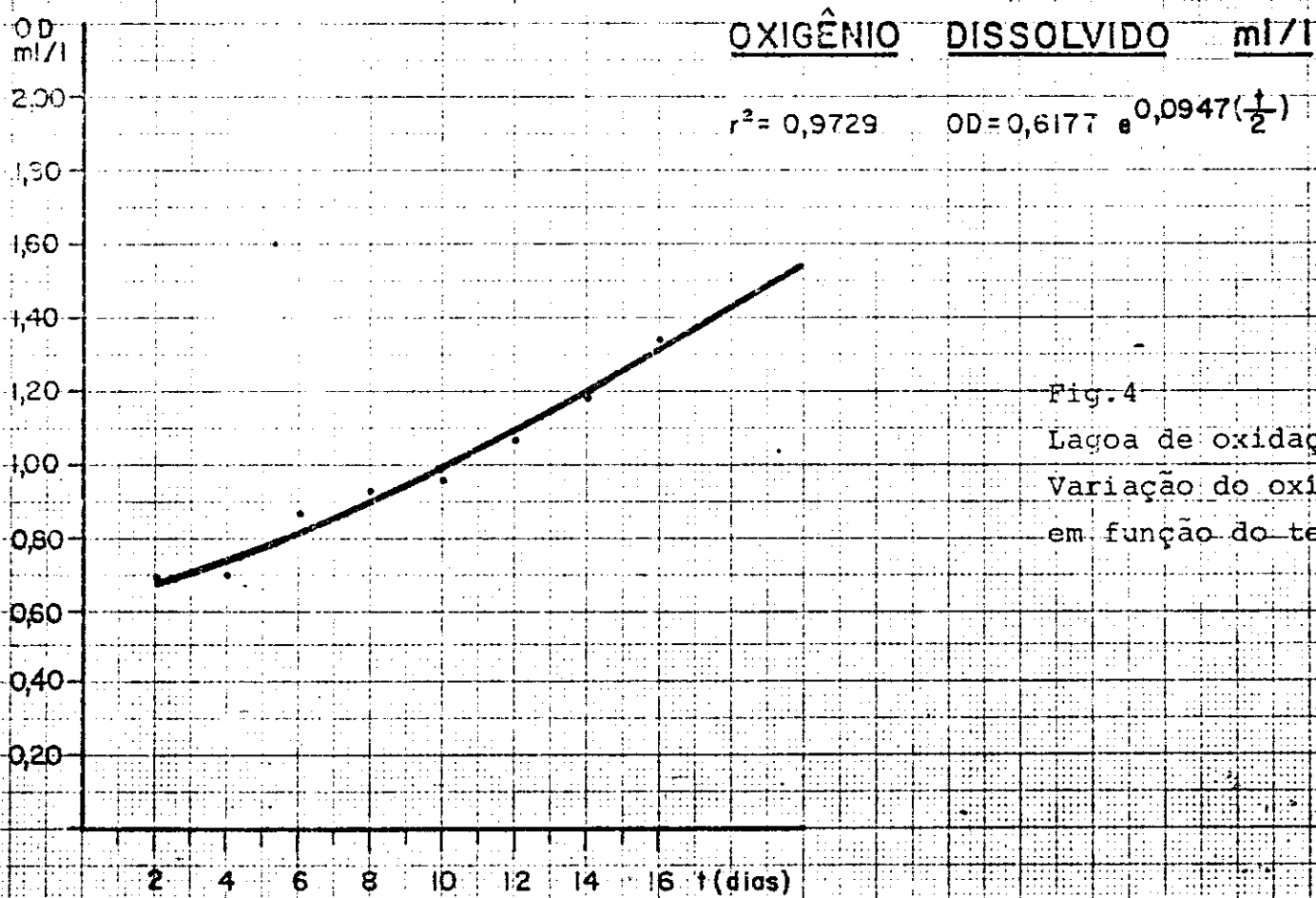


Fig.4

Lagoa de oxidação biológica.

Variação do oxigênio dissolvido em função do tempo de permanência.

BOD $\text{mg O}_2/\text{l}$

BOD $\text{mg O}_2/\text{l}$

$k = 0,9852$

$$\text{BOD} = 102,5915 - 35,6612 \cdot \ln \frac{t}{2}$$

110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

2 4 6 8 10 12 14 16 t(dias)

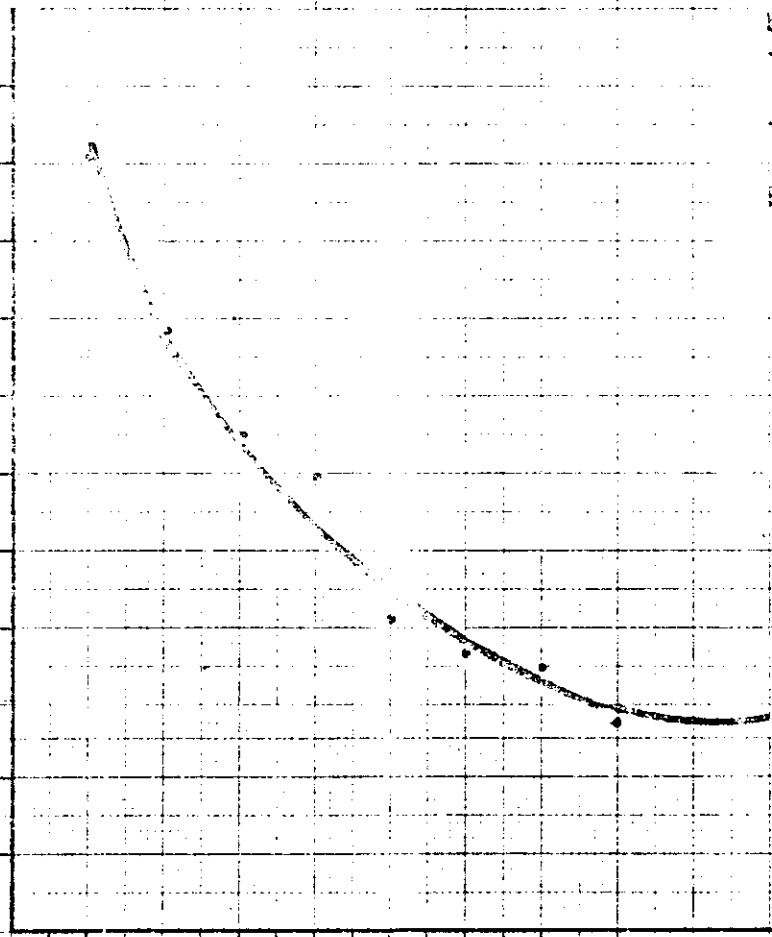


Fig. 5

Lagoa de oxidação biológica.
Variação da demanda bioquímica
de oxigênio em função do tempo
de permanência.

COD ml/l

COD ml/l

200

$r^2 = 0,99322$

190

$$\text{COD} = 189,752 - 37,486 \ln \frac{t}{2}$$

180

170

160

150

140

130

120

110

100

2

4

6

8

10

12

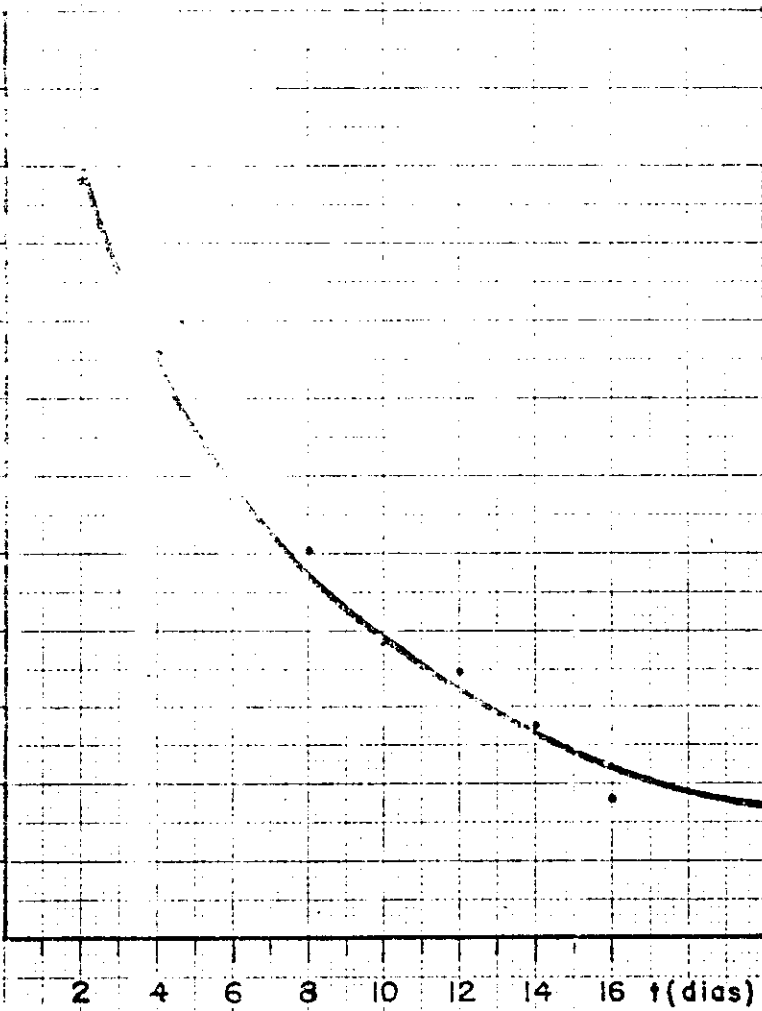
14

16

f (dias)

Fig. 6

Lagoa de oxidação biológica.
Variação da demanda química
de oxigênio em função do tempo
de permanência.



SS mg/l

SÓLIDOS SUSPENSOS mg/l

$$r = 0,8773$$

$$SS = 84,3585 \left(\frac{t}{2}\right)^{-1,0646}$$

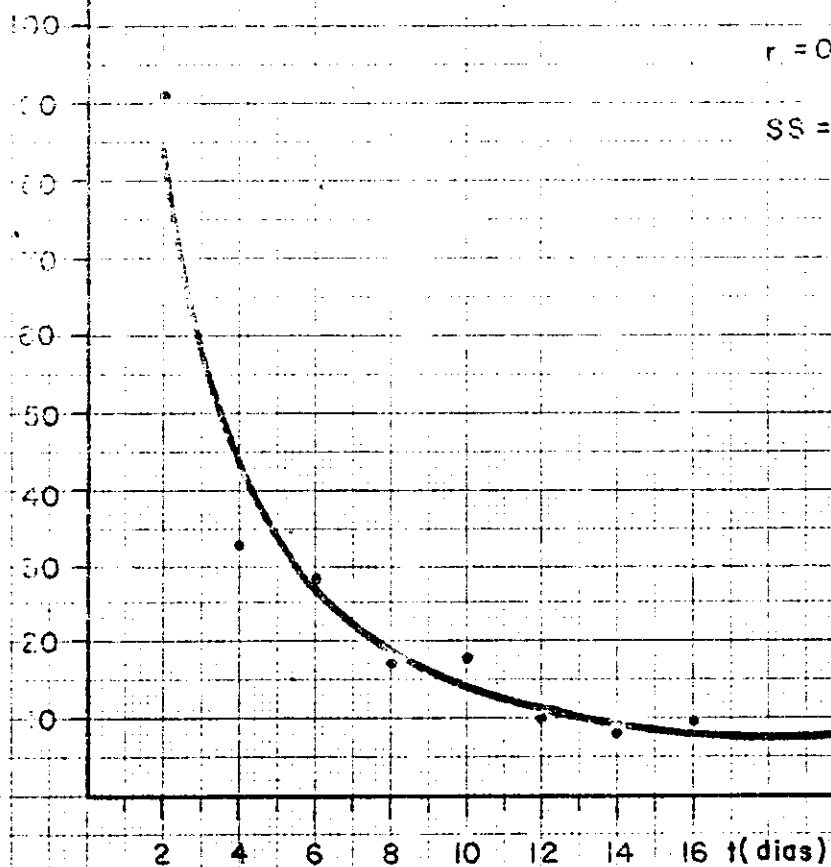
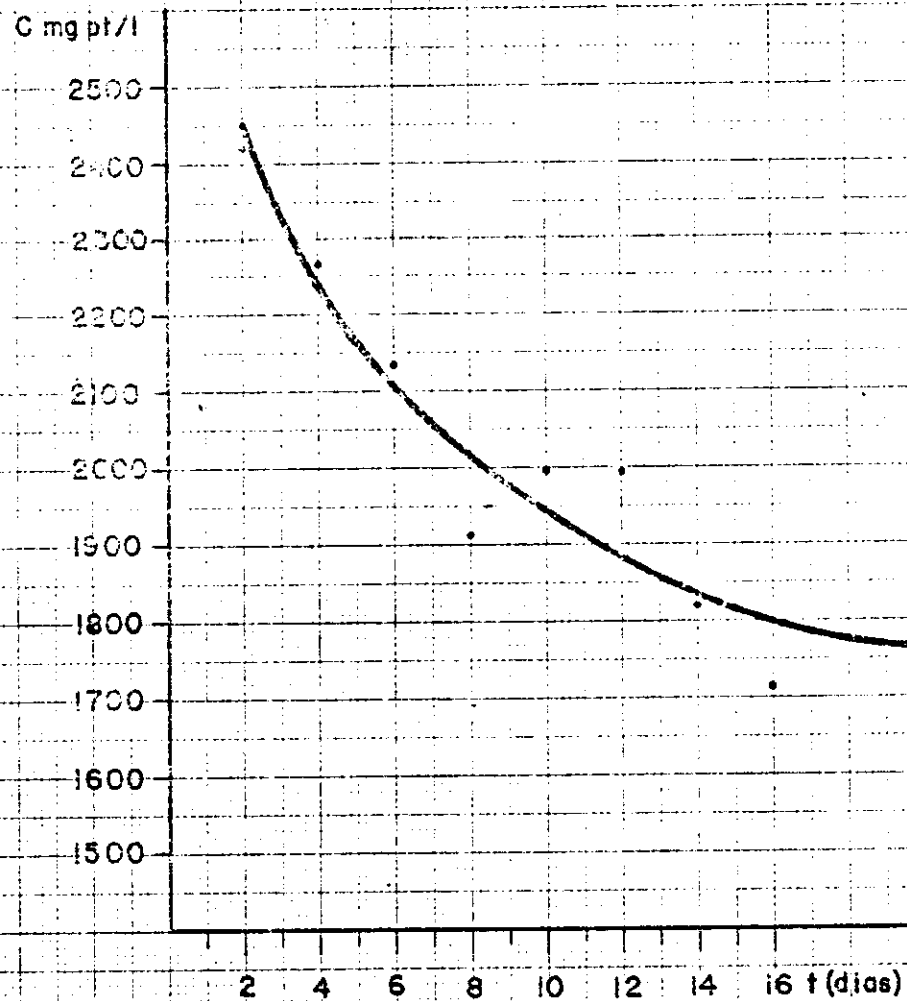


Fig.7

Lagoa de oxidação biológica.
Variação na concentração de
sólidos suspensos em função
do tempo de permanência.



COR mg pt/l

$$r^2 = 0,3097$$

$$C = 2451,08 - 315,4 \ln \frac{t}{2}$$

Fig. 8

Curva de oxidação biológica.

Variação do cor em função do tempo de permanência.

C_d
 $\mu\text{ mho/cm}$

CONDUTIVIDADE $\mu\text{ mho/cm}$

$$r^2 = 0,6210$$

$$C_d = 1532,339 \left(\frac{t}{2}\right)^{0,0361}$$

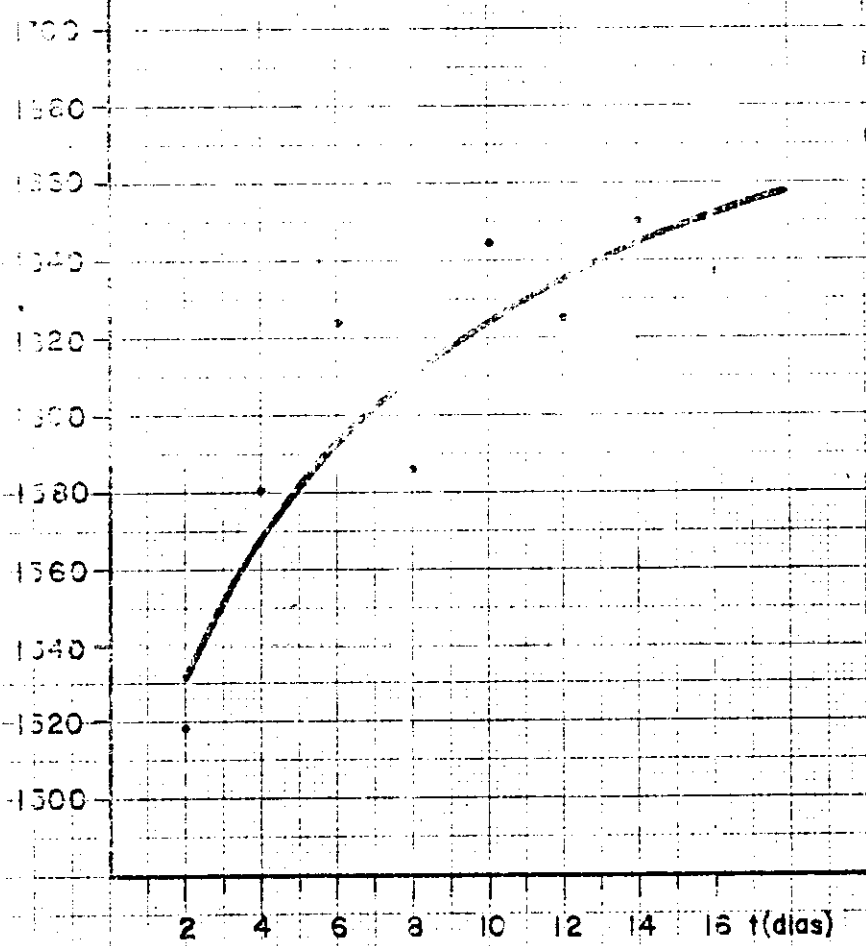


Fig. 9

Lagoa de oxidação biológica.
Variação da condutividade em
função do tempo de permanência.

FTU

TURBIDEZ (FTU)

$$R^2 = 0,9803$$

$$TU = 334,26 \left(\frac{t}{2}\right)^{-0,289}$$

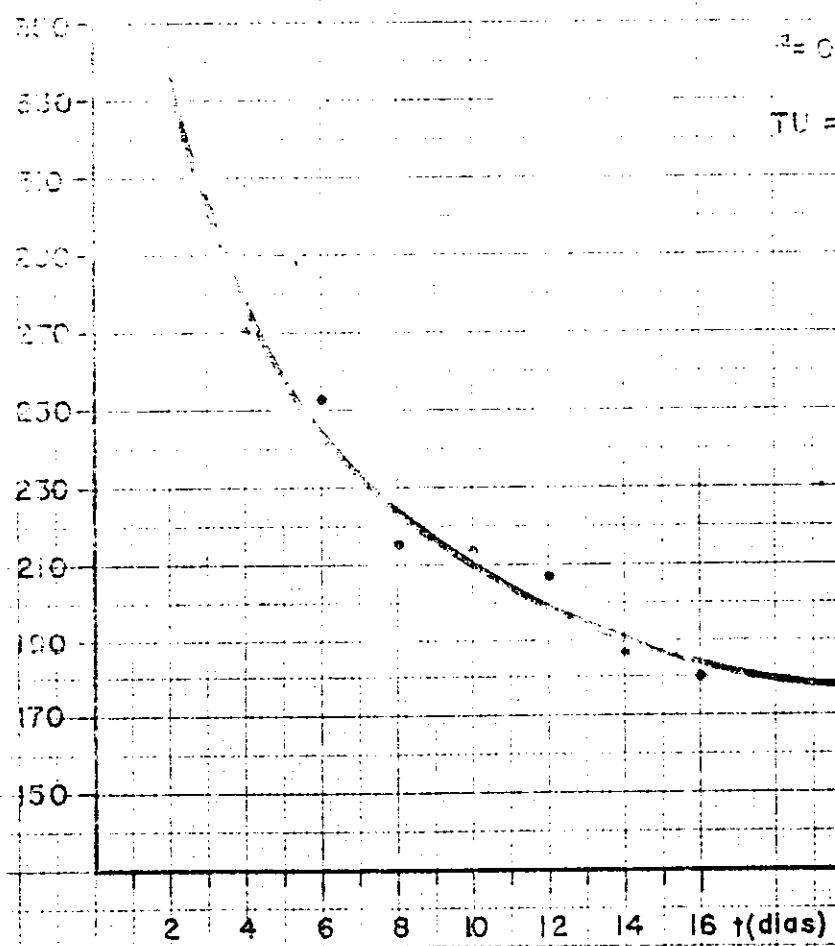


Fig. 10

Lagoa de oxidação biológica.
Variação da turbidez em função
do tempo de permanência.

As curvas que melhor representaram o comportamento das variáveis ao longo da lagoa em função do tempo foram as que seguem:

VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS
AO LONGO DA LAGOA DE OXIDAÇÃO

(t em dias)

TEMPERATURA - T - (°C)

$$r^2 = 0,9914 \quad (1)$$

$$T = 36,0591 - 2,5293 \ln \left(\frac{t}{2} \right)$$

pH

$$t = 0 \text{ até } t = 8$$

$$r^2 = 0,9816 \quad (2a)$$

$$pH = 7,6604 - 0,2805 \ln \left(\frac{t}{2} \right)$$

$$t > 8 \quad r^2 = 0,9186$$

$$pH = 7,3104 + 0,1291 \ln \left(\frac{t - 8}{2} \right) \quad (2b)$$

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - OD ml/l

$$r^2 = 0,9729$$

$$OD = 0,6177 e^{0,0947 \left(\frac{t}{2} \right)} \quad (3)$$

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

$$\text{BOD}_5 \quad - \quad \text{mgO}_2/\text{l}$$

$$r^2 \quad = \quad 0,9832 \quad (4)$$

$$\text{BOD}_5 \quad = \quad 102,5915 - 35,6612 \ln \left(\frac{t}{2} \right)$$

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO - COD - ml/l

$$r^2 \quad = \quad 0,99322$$

$$\text{COD} \quad = \quad 189,752 - 37,486 \ln \left(\frac{t}{2} \right) \quad (5)$$

SÓLIDOS SUSPENSOS - SS - mg/l

$$r^2 \quad = \quad 0,9773$$

$$\text{SS} \quad = \quad 84,3585 \left(\frac{t}{2} \right) - 1,0846 \quad (6)$$

$$\text{COR} - C \quad = \quad \frac{\text{mgPt}}{1}$$

$$r^2 \quad = \quad 0,9097$$

$$C \quad = \quad 2451,08 - 315,2 \ln \left(\frac{t}{2} \right) \quad (7)$$

CONDUTIVIDADE - Cd - umhos/cm

$$r^2 \quad = \quad 0,8210$$

$$\text{Cd} \quad = \quad 1532,339 \left(\frac{t}{2} \right) - 0,0361 \quad (8)$$

TURBIDEZ - Tu - Ftu

$$r^2 = 0,9808$$

$$Tu = 334,2598 \left(\frac{t}{2}\right) - 0,2890 \quad (9)$$

As figuras de 2 a 10 mostram a variação com o tempo de permanência na lagoa da temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda Bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos, cor, condutividade e turbidez.

Os pontos assinalados correspondem à média dos dados para aquela permanência e a curva foi desenhada a partir da equação obtida pelo computador.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A lagoa de oxidação biológica é um sistema aberto no qual o material que entra é igual ao material que sai mais o material que se precipita ou que se volatiliza durante o processo. Alguns dos itens mais solúveis, como os sais, atravessam o sistema sem mudança.

A matéria orgânica deve se oxidar e sedimentar no fundo da lagoa.

Esse sedimento é retirado periodicamente por dragagem. Outros elementos se volatilizam.

O comportamento químico da lagoa pode ser avaliado pelo balanço geral entre o material que entra e o que sai.

Forma-se então um sistema contínuo de equilíbrio onde o material que entra é modificado pela remoção por sedimentação, troca iônica, produção biológica de material inerte, volatilização, de modo que saia em uma quantidade mínima que não interfira no sistema receptor.

Na lagoa de oxidação biológica os parâmetros do sistema variaram da maneira seguinte

- Temperatura - A temperatura alta decorrente do processo de fabricação foi entrando em equilíbrio com a temperatura ambiente (30°C) ao longo da lagoa. A perda relativa no início do processo foi maior do que no final do processo.

A temperatura mais baixa possibilitou também que mais oxigênio pudesse ser dissolvido na água ao longo da lagoa.

- pH - A curva correspondente ao pH demonstra duas características diferentes - Um abaixamento inicial até oito dias após o início do tratamento e uma elevação com estabilização ao pH 7,5 no final da lagoa.

O abaixamento inicial é causado pela formação de ácidos orgânicos, desprendimento de dióxido de carbono e de metano e redução de sulfatos causada pelos primeiros estágios de oxidação. A lagoa apresenta um odor de putrefação nessa fase. O segundo estágio demonstra o aparecimento de nova forma de flora-fauna nas águas - Há diminuição na formação de gás, aumento de aerobicidade. O pH sobe e nota-se o início de formação de algas e outras formas de vida que libertam oxigênio. A medida que a água prossegue na lagoa vão surgindo formas mais elevadas de vida, ocorrendo peixes a partir do ponto 6.

O aumento relativo do pH é maior entre 8 e 14 dias, quando dá-se início à formação de vegetação aeróbia.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

A quantidade de oxigênio dissolvido na água cresce com o tempo de permanência da lagoa.

O crescimento é mais pronunciado a partir do 8º dia de permanência, quando há manifestação e desenvolvimento de vida aeróbia e decréscimo da atividade microbológica. Ao mesmo tempo, a temperatura mais baixa dessa parte da lagoa permite uma melhor dissolução e fixação de oxigênio na água devido à elevação do seu potencial de saturação.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

A demanda bioquímica de oxigênio decresce rapidamente nos primeiros oito dias com a oxidação do material orgânico em suspensão na água. Mesmo depois de sedimentado, esse material continuará requerendo oxigênio para a sua degradação.

A formação de formas aeróbias de vida contribui, depois do 8º dia de permanência, para a demanda bioquímica de oxigênio permanecer, embora em nível baixo, já que esse material quando morre precisa de oxigênio para se decompor.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

A demanda química de oxigênio apresenta comportamento semelhante ao da demanda bioquímica, diminuindo mais acentuadamente até o oitavo dia de permanência. Aparentemente a formação de formas aeróbias de vida não interferem muito na diminuição da demanda química de oxigênio com o tempo de permanência. Todavia, este teste é menos preciso do ponto de vista biológico do que do ponto de vista químico.

SÓLIDOS SUSPENSOS

Os sólidos suspensos são sedimentados rapidamente até o oitavo dia de permanência.

A deposição em seguida é mais lenta, havendo pequena quantidade de sólidos suspensos residuais. Esses sólidos residuais, provavelmente de origem bacteriana, são de pequena dimensão, o que impede sua precipitação, serão porém facilmente biodegradáveis quando em mistura com as águas do rio.

COR

A diminuição de cor ao longo da lagoa de efluente obedece a mesma tendência que a diminuição dos outros parâmetros: mais acentuada até o 8º dia de permanência e menos acentuada depois. A cor relativamente elevada terá pouco efeito quando o efluente for lançado ao corpo receptor: primeiro por que a água sofrerá uma diluição com a água da lagoa de cinzas e depois por que a água é diluída a 1:437 m³/s quando lançada no corpo receptor, o rio Jari.

CONDUTIVIDADE

A condutividade da água aumenta com o tempo de permanência da mesma na lagoa. Isso se explica por que muitos dos componentes inorgânicos estão inicialmente ligados aos orgânicos como cátions ou como ânions. Com a oxidação e sedimentação dos componentes orgânicos há uma liberação dos cátions e ânions inorgânicos, que aumentam o teor de condutividade do meio aquoso.

TURBIDEZ

A turbidez também decresce acentuadamente até o oitavo dia de permanência e depois menos acentuadamente.

A turbidez residual pode ser explicada pela presença dos sólidos suspensos de pequena dimensão, não sedimentáveis, que se oxidarão posteriormente no leito do rio.

CONCLUSÃO

A lagoa de estabilização da FACEL pode ser considerada como um sistema de reação contínuo para a oxidação biológica dos efluentes, sendo a ela aplicáveis os correspondentes modelos matemáticos de funcionamento.

Há duas zonas bem definidas de reação, uma até o oitavo dia de permanência de água com reações anaeróbias-aeróbias, quando se dá a maioria da oxidação e sedimentação dos componentes orgânicos, num processo de fermentação intensiva.

Após o oitavo dia a fase aeróbia predomina, algas e peixes começam gradativamente a ocorrer e na sua última porção a lagoa é perfeitamente adequada à vida aquática.

Estão sendo agora iniciados estudos sobre a distribuição do tipo de vida aquática (flora e fauna) nas diferentes partes da lagoa, visando a ampliação de sua potencialidade na oxidação de efluentes e, eventualmente, na obtenção de alimentos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o cuidado, a paciência, a perseverança e a meticulosidade dos senhores Fernando Felix de Barros e Jomar Alves Ferreira durante as cinquenta e oito semanas de coleta de amostras para este trabalho.

Agradecem também a cooperação, o cuidado e a precisão das senhoritas Carmen Lúcia Moreira Siqueira e Joice Scripinic na efetuação das análises e o bom senso e a paciência dos Srs. José Maurício dos Santos Oliveira e José Carlos de Freitas Moraes nos cálculos e na supervisão das operações.

Agradecem ao Sr. Moisés Madureira da Silva pelos desenhos, ao Sr. Walter Martchenk pelo empréstimo do computador e ao Sr. Carlos Alberto da Silva Farias pela datilografia.

Agradecem especialmente à Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel a oportunidade de apresentação deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. Nelson Leonard Nemerow - Scientific Stream
Pollution Analysis. 1974 . Mc Graw Hill
Book Company.
2. George Box, William Hunter e Stuart Hunter
Statistics for Experimenters - 1978
John Wiley & Sons, Inc.
3. L. Eugene Cronin -
Estuarine Research - Volume I
Chemistry, Biology and the Estuarine System - 1975
Academic Press Inc.

BIBLIOGRAFIA

4. Frederick Coulston, Emil Mark
Water Quantity - Proceedings of an International Forum -
1977 - Academic Press Inc.

5. W. B. Stengle, G. George Hollis e W. K. Phillips
A Characterization of Effluent Suspended Solids -
TAPPI - julho 1979 Vol. 62 n° 7

6. Chemicals, pH Govern Treatment of Boiler
Blowdown and ...
Power, April 1977 S.9

BIBLIOGRAFIA

7. Hasit Trivedi and Ralph Pike
Ecological Model and Remote Sensing -
Bombay Technologist Vol. 22, 1971-72

8. C. Billups, B. Wilkins e R. W. Pike
Reactor Analysis Applied of the Environment -
American Institute of Chemical Engineers -
Seventeenth National Meeting, 1971

9. Eloá Tikkanen, Beatriz V. P. Redko
Comportamento de uma Lagoa de Estabilização
Biológica -
Trabalho apresentado no XII Congresso Anual
da ABCP - 1979

BIBLIOGRAFIA

10. P. M. Braille - Manual de Tratamento de
Águas Residuárias Industriais -
EDUSP

11. M. O. Silva - Análises Físico-Químicas
para Controle de Estações de Tratamento
de Esgotos -
CETESB, 1977.