

MARIA DE FÁTIMA NASCIMENTO DE SOUSA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE DETENÇÃO NO COMPORA  
MENTO DE NUTRIENTES AO LONGO DE UMA SÉRIE DE LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO. - LAGOAS PROFUNDAS

Dissertação apresentada ao Curso  
de Mestrado em Engenharia Civil  
da Universidade Federal da Paraií  
ba, em cumprimento às exigências  
para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES: PROF. SALOMÃO ANSELMO SILVA  
PROF<sup>a</sup> ANNEMARIE KÖNIG

CAMPINA GRANDE - PB

1988



S725e Sousa, Maria de Fatima Nascimento de  
Estudo da influencia do tempo de detencaõ no  
comportamento de nutrientes ao longo de uma serie de lagoas  
de estabilizacão : lagoas profundas / Maria de Fatima  
Nascimento de Sousa. - Campina Grande, 1988.  
185 f. : il.

Dissertacão (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e  
Tecnologia.

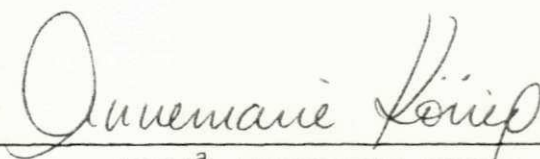
1. Esgotamento Sanitario 2. Lagoa Anaerobica 3. Lagoa de  
Estabilizacão 4. Esgotamento Domestico - 5. Recursos  
Hidricos 6. Engenharia Civil 7. Dissertacão I. Silva,  
Salomao Anselmo II. Konig, Annemarie III. Universidade  
Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 628.357(043)

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE DETENÇÃO NO  
COMPORTAMENTO DE NUTRIENTES AO LONGO DE UMA  
SÉRIE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS

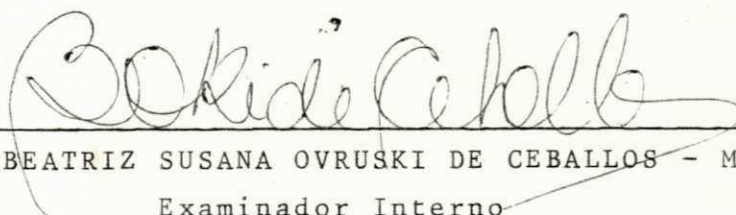
MARIA DE FÁTIMA NASCIMENTO DE SOUSA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/10/88



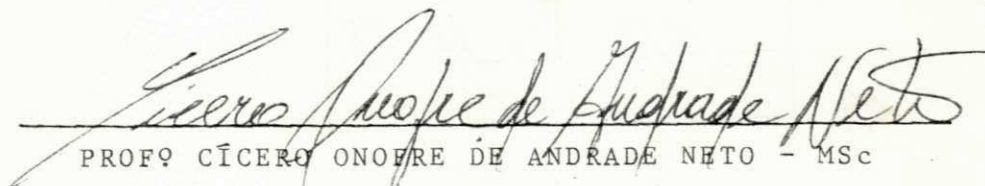
---

PROF<sup>a</sup> ANNEMARIE KONIG - PhD  
Orientadora



---

PROF<sup>a</sup> BEATRIZ SUSANA OVRUSKI DE CEBALLOS - MSc  
Examinador Interno



---

PROF<sup>o</sup> CÍCERO ONOFRE DE ANDRADE NETO - MSc  
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE - PB

1988

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Salomão Anselmo Silva pela contribuição, apoio e facilidade ao acesso de dados da EXTRABES, e a professora Annemarie König pela orientação, dedicação e abnegável espírito de luta no decorrer desse trabalho.

Ao professor Rui de Oliveira pela orientação imprescindível e incansável apoio.

A Dr. Rafael Senner de Araújo - Presidente do Conselho Regional de Química - 1ª Região, pelo incentivo.

À equipe da EXTRABES, pelo carinho e contribuição dada durante a pesquisa, e com gratidão a José Taveira Leite, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos companheiros de mestrado Ivete Vasconcelos, Wellington Farias, e em especial a Germano Cruz, pelo apoio e amizade.

Aos órgãos convenientes da EXTRABES pelo suporte financeiro:

- Universidade Federal da Paraíba
- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA
- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE

- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
- Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP
- Fundo de Incentivo a Pesquisa Técnico - Científica - FIPEC - Banco do Brasil S.A.
- Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/NE.

## OFERECIMENTO

À minha mãe, Carminha Sousa, ser inigualável, que entre tantas coisas, me deu a vida. À meu pai, e meu irmão Roberto "in memoriam", e a meus outros sete irmãos.

À João de Deus, companheiro de todas as horas, pela compreensão, apoio, e por realizar-me como pessoa.

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo o estudo da influência do tempo de detenção no comportamento de nutrientes ao longo de uma série de cinco lagoas de estabilização profundas, em escala piloto, tratando esgoto doméstico bruto. Este trabalho teve como base o estudo da eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo, inclusive estado de nitrificação nos efluentes dos vários estágios da série, com o sistema operado com tempos de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias. A variação diurna das formas de nitrogênio e fósforo, foram também estudadas no experimento com tempo de detenção hidráulica total de 40 dias.

O sistema experimental no qual a pesquisa foi reali-  
zada consistiu de cinco lagoas dispostas em série, sendo a primeira uma lagoa anaeróbia ( $A_7$ ), seguida de uma facultativa secundária ( $F_9$ ) e três (3) de maturação  $M_7$ ,  $M_8$  e  $M_9$ . O sistema estava localizado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) na cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil ( $7^{\circ}13'11''S$ ,  $39^{\circ}52'31''O$ ). A profundidade das lagoas era de 2,20 m.

Para atender aos objetivos da pesquisa foram levados a efeito dois tipos de Experimento: o tipo 1, consistindo no monitoramento dos efluentes da série para dois períodos experimentais, e o tipo 2, sobre a distribuição ver

tical de parâmetros realizado apenas no segundo período experimental.

Os reatores pesquisados no primeiro período experimental - de janeiro a dezembro de 1986 - com tempo de detenção hidráulica total de 25 dias, apresentavam cargas orgânicas superficiais entre 638 e 97 kg.DBO<sub>5</sub>/ha.d, enquanto que no segundo período experimental - janeiro a dezembro de 1987 - o tempo de detenção total foi de 40 dias, e as cargas orgânicas variaram de 474,8 a 52,5 kg.DBO<sub>5</sub>/ha.d.

O trabalho de campo consistiu no levantamento dos seguintes parâmetros: nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico, ortofosfato solúvel, fósforo total, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e clorofila a.

Foi observado que o sistema de lagoas profundas não foi eficiente na remoção de nutrientes, tanto com 25 dias como com 40 dias de detenção hidráulica, embora que com 40 dias as eficiências de remoção tenham sido um pouco maiores comparadas com as do primeiro período.

As concentrações de amônia não atingiram valores considerados tóxicos à população de algas, e a ocorrência do processo de nitrificação foi observado eventualmente, nos dois períodos experimentais. Também não foram verificadas remoções expressivas no conteúdo de fósforo total.



## ABSTRACT

The aim of this work to study the effect of hydraulic retention time on phosphorus and nitrogen removal in a série of pilot scale deep waste stabilization ponds treating raw sewage. The pond system, comprising an anaerobic pond (A<sub>7</sub>) followed by a facultative (F<sub>9</sub>) and three maturation ponds (M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub> and M<sub>9</sub>) was located at EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários) - Campina Grande - Paraíba Northeast Brazil (7°13'11"S, 39°52'31"W). Ponds were 2.20 m deep.

Field work was carried out under two different mean hydraulic retention times: 25 days (January-December 1986) and 40 days (January-December 1987). Pond areal load varied from 638 (pond A<sub>7</sub>) to 97 kg DBO<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (pond M<sub>9</sub>) and 475 to 52 kg DBO<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> for the first and second experimental period respectively.

During the first period only pond effluents were monitoring, during the second, experiments on the vertical distribution of the parameters were also considered. Ammoniacal nitrogen and nitrate, soluble orthophosphate, total phosphorus, pH, dissolved oxygen, temperature and chlorophyll a were analysed.

Nutrient removal was not efficient with either of the by hydraulic retention times studied.

Amoniacal nitrogen concentration were not toxic for algal population and nitrification occured eventually.

## ÍNDICE

	Página
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 - Nitrogênio e Fósforo .....	3
2.2 - Eutrofização como Consequência de Despejos Contendo Nitrogênio e Fósforo .....	4
2.3 - Ciclo do Nitrogênio na Natureza .....	6
2.3.1 - Ciclo do nitrogênio em sistemas <u>a</u> <u>quáticos</u> .....	9
2.4 - Remoção de Nitrogênio em Lagoas de <u>Estabi</u> <u>lização</u> .....	13
2.4.1 - Remoção de nitrogênio por <u>volatili</u> <u>zação da amonia</u> .....	14
2.4.2 - Remoção de nitrogênio por <u>nitrifi</u> <u>cação/desnitrificação</u> .....	17
2.4.3 - Utilização das formas de <u>nitrogê</u> <u>nio por microrganismos aquáticos</u> .	18
2.5 - O Ciclo do Fósforo na Natureza e em <u>Siste</u> <u>mas aquáticos</u> .....	19
2.6 - Remoção de Fósforo em Lagoas de <u>Estabiliza</u> <u>ção</u> .....	22
2.6.1 - Utilização das formas de <u>fósforo</u> <u>por microrganismos aquáticos</u> .....	24

3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1 - Descrição do Sistema Experimental .....	26
3.2 - Alimentação das Lagoas .....	26
3.3 - Metodologia da Pesquisa .....	30
3.3.1 - Caracterização dos tipos de Experi <u>men</u> <u>to</u> .....	31
3.3.2 - Coleta de amostras .....	32
3.3.2.1 - Coleta de amostras no Ex <u>per</u> <u>imento</u> tipo 1 .....	32
3.3.2.2 - Coleta de amostras para o estudo da distribuição vertical de parâmetros (Experimento tipo 2) ...	32
3.3.3 - Medição de temperatura ao longo da profundidade .....	33
3.3.4 - Descrição da plataforma móvel de coleta .....	34
3.3.5 - Métodos analíticos .....	35
3.3.5.1 - pH .....	35
3.3.5.2 - Oxigênio dissolvido ....	37
3.3.5.3 - Temperatura .....	37
3.3.5.4 - Demanda Bioquímica de <u>O</u> xigênio - $DBO_5$ .....	37
3.3.5.5 - Velocidade do vento ....	38
3.3.5.6 - Radiação solar .....	38
3.3.5.7 - Nitrogênio amoniacal ...	39
3.3.5.8 - Nitrato .....	39

3.3.5.9 - Fósforo .....	39
3.3.5.10 - Clorofila <u>a</u> .....	40
3.3.5.11 - Identificação e contagem de algas .....	42
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	43
4.1 - Experimento Tipo 1 .....	43
4.1.1 - Dados meteorológicos .....	43
4.1.2 - Temperatura das amostras .....	43
4.1.3 - pH .....	46
4.1.4 - Nitrogênio amoniacal .....	47
4.1.5 - Nitrogênio nítrico .....	50
4.1.6 - Ortofosfato solúvel .....	51
4.1.7 - Fósforo total .....	52
4.1.8 - Clorofila <u>a</u> .....	54
4.2 - Experimento Tipo 2 .....	55
4.2.1 - Avaliação dos dados meteorológicos .....	55
4.2.2 - Lagoa anaeróbia (A <sub>7</sub> ) .....	59
4.2.2.1 - Nitrogênio amoniacal ...	60
4.2.2.2 - Nitrogênio nítrico .....	61
4.2.2.3 - Ortofosfato solúvel ....	62
4.2.2.4 - Fósforo total .....	63
4.2.2.5 - Clorofila <u>a</u> .....	65
4.2.3 - Lagoa facultativa secundária (F <sub>9</sub> ). .....	67
4.2.3.1 - Nitrogênio amoniacal ...	69
4.2.3.2 - Nitrogênio nítrico .....	71
4.2.3.3 - Ortofosfato solúvel ....	74

4.2.3.4 - Fósforo total .....	75
4.2.3.5 - Clorofila <u>a</u> .....	77
4.2.4 - Lagoa de maturação (M <sub>7</sub> ) .....	79
4.2.4.1 - Nitrogênio amoniacal ...	82
4.2.4.2 - Nitrogênio nítrico .....	84
4.2.4.3 - Ortofosfato solúvel ....	85
4.2.4.4 - Fósforo total .....	86
4.2.4.5 - Clorofila <u>a</u> .....	87
4.2.5 - Lagoa de maturação (M <sub>8</sub> ) .....	89
4.2.5.1 - Nitrogênio amoniacal ...	90
4.2.5.2 - Nitrogênio nítrico .....	92
4.2.5.3 - Ortofosfato solúvel ....	95
4.2.5.4 - Fósforo total .....	96
4.2.5.5 - Clorofila <u>a</u> .....	98
4.2.6 - Lagoa de Maturação (M <sub>9</sub> ) .....	99
4.2.6.1 - Nitrogênio amoniacal ...	101
4.2.6.2 - Nitrogênio nítrico .....	104
4.2.6.3 - Ortofosfato solúvel ....	107
4.2.6.4 - Fósforo total .....	108
4.2.6.5 - Clorofila <u>a</u> .....	111
4.2.7 - Identificação e contagem de algas.	112
5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	114
5.1 - Temperatura das Amostras .....	114
5.1.1 - Experimento tipo 1 .....	114
5.1.2 - Experimento tipo 2 .....	115
5.2 - pH .....	116

5.2.1 - Experimento tipo 1 .....	116
5.2.2 - Experimento tipo 2 .....	117
5.3 - Nitrogênio Amoniacal .....	117
5.3.1 - Experimento tipo 1 .....	117
5.3.2 - Experimento tipo 2 .....	119
5.3.3 - Aspectos da toxicidade de amônia para a população de algas .....	120
5.4 - Nitrogênio Nítrico .....	121
5.4.1 - Experimento tipo 1 .....	121
5.4.2 - Experimento tipo 2 .....	122
5.5 - Ortofosfato Solúvel .....	124
5.5.1 - Experimento tipo 1 .....	124
5.5.2 - Experimento tipo 2 .....	125
5.6 - Fósforo Total .....	126
5.6.1 - Experimento tipo 1 .....	126
5.6.2 - Experimento tipo 2 .....	127
5.7 - Clorofila <u>a</u> .....	128
5.7.1 - Experimento tipo 1 .....	128
5.7.2 - Experimento tipo 2 .....	129
5.8 - Identificação e Contagem de Altas .....	130
5.8.1 - Experimento tipo 1 .....	130
CONCLUSÕES .....	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135
ANEXO .....	141

## 1 - INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização constituem uma importante alternativa para o tratamento de águas residuárias domésticas, principalmente em países onde ocorre a disponibilidade de grandes extensões de terra, e as condições climáticas favorecem sua operação. O tratamento de esgotos em lagoas de estabilização pode atingir graus elevados de purificação tanto do ponto de vista da remoção de material orgânico, como no que diz respeito à inativação de organismos patogênicos. Graus variados de qualidade do efluente são conseguidos com o projeto de lagoas de estabilização em série.

Tradicionalmente, lagoas de estabilização são grandes reservatórios rasos (lagoas facultativas e de maturação são normalmente projetadas com 1,5 m de profundidade) nos quais águas residuárias são tratadas principalmente por processos bioquímicos.

A utilização de lagoas de estabilização mais profundas que as convencionais tem sido estudadas em países como Espanha, Chipre e Israel, mas é necessário ressaltar que principalmente em Israel os reservatórios profundos tem a principal finalidade de acumular águas residuárias para utilização na agricultura (MARA e PEARSON, 1986).

O Engelberg Report, 1985, sugere que a utilização



de lagoas profundas poderiam se tornar num importante instrumento de controle de poluição, já que poderiam associar as qualidades do tratamento de esgotos das lagoas convencionais com economia considerável de terreno. Em julho de 1985 a EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários) iniciou o monitoramento de modelos em escala piloto em profundidades da ordem de 2,2 m. Ainda em 1985 foi estabelecido um plano de trabalho para o acompanhamento do desempenho de tais modelos, o qual consistia basicamente na coleta de dados de monitoramento com base em amostras diárias e compostas semanais, além de estudos de caracterização dos reatores ao longo de sua profundidade.

O estudo do comportamento de nutrientes como fósforo e nitrogênio (amônia e nitrato) ao longo de uma série de cinco lagoas com base em dados de monitoramento para períodos de detenção hidráulica totais, de 25 e 40 dias, assim como, o estudo da distribuição vertical desses nutrientes fazem parte do plano de pesquisa estabelecido em 1985, e constituem o principal objetivo deste trabalho.

As concentrações dos nutrientes estudados ao longo das 24 horas, tenderam sempre à uniformidade ao longo da profundidade.

Os resultados mostram que lagoas profundas em série, não são eficientes na remoção de nutrientes, especialmente amônia e ortofosfato solúvel, assim como não promovem a ocorrência significativa do processo de nitrificação.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Nitrogênio e Fósforo

Nitrogênio e fósforo são nutrientes importantes para todas as formas de vida. Assim como o carbono, eles são exemplo de elementos chaves na constituição do protoplasma dos organismos vivos. Estes nutrientes podem ser assimilados sob forma inorgânica (nutrição autotrófica) ou como moléculas orgânicas complexas (nutrição hiterotrófica).

Nitrogênio e fósforo são encontrados em concentrações elevadas em águas que recebem matéria orgânica complexa. Nesses ambientes aquáticos eutróficos, ex. lagoas de estabilização, esses elementos não se constituem em fatores limitantes. Somente no caso de disponibilidade excessiva de carbono, é que nitrogênio ou fósforo, tornam-se limitantes para o crescimento das algas (FERRARA E AVCE, 1982). Em ambientes de água doce, por exemplo lagos oligotróficos, o fósforo é o elemento limitante mais comum (GOLDMAN e HORNE, 1983).

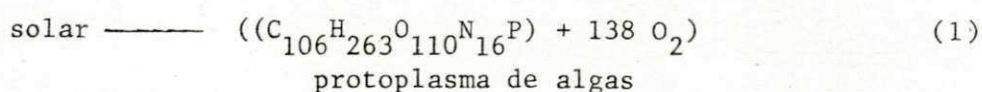
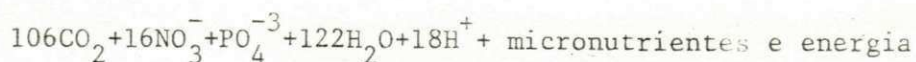
Os habitats naturais podem ou não favorecer o crescimento dos microrganismos, estando estes sujeitos às condições limitantes de nutrientes. No entanto, eles possuem a capacidade de se adaptar tanto à disponibilidade quanto à escassez desses nutrientes.

## 2.2 - Eutrofização como Consequência de Despejos Contendo Nitrogênio e Fósforo

Eutrofização consiste no enriquecimento artificial de corpos d'água por despejos ricos em nutrientes, tais como, nitrogênio, fósforo, ferro e carbono. A eutrofização é um dos maiores problemas de poluição aquática. Uma grande contribuição para a eutrofização de sistemas aquáticos, origina-se de agricultura intensiva, devido à aplicação de alguns fertilizantes. O grau de eutrofização de corpos receptores está bastante relacionado com o suprimento de nitrogênio e fósforo.

A poluição, relacionada à presença de nitrogênio traz consequências graves, como: diminuição de oxigênio dissolvido nos rios e lagos (como resultado da oxidação do nitrogênio amoniacal), efeitos tóxicos da amônia, para os peixes, aumento da concentração de nitrato em água potável com graves riscos de saúde pública. O nitrato é muito solúvel em água, portanto a sua remoção em corpos d'água é de grande importância na prevenção de metehemoglobinemia infantil. Recomenda-se que a concentração de nitrato não deva exceder a 10 mgN/l, em água potável.

O esgoto doméstico é uma fonte rica em nutrientes necessários para o crescimento do fitoplâncton, o qual pode ser expresso pela seguinte equação (BROCK et alii, 1984):



Através da equação (1) pode ser concluído que a absorção de N e P por algas, ocorre numa proporção molar de 16H: 1P. O fósforo, no entanto, é o elemento limitante para a produtividade de algas em sistemas aquáticos. A não disponibilidade desse elemento, em despejo e/ou efluentes, é uma condição muito importante para evitar problemas de eutrofização em corpos receptores.

Para minimizar e evitar problemas de eutrofização, torna-se necessário tratar as águas residuárias, quer sejam de origem doméstica ou provenientes de despejo industriais. O excesso de nutrientes provenientes de efluentes de lagoas de estabilização, pode causar desequilíbrios na comunidade biológica de corpos receptores como também de desenvolvimentos exagerados de algas. Essas algas ao morrerem se decompõem produzindo odores desagradáveis, além de problemas de turbidez da água, causada pela flutuação dessa massa de algas. Como consequência, a turbidez impede a penetração da luz, afetando o processo de fotossíntese.

O aspecto mais grave do problema de eutrofização por despejos ricos em nitrogênio e fósforo é a dificuldade de se controlar o processo, portanto, deve-se evitar o excesso de nutrientes em corpos receptores, e esse é um dos principais objetivos das operações de tratamento de esgotos.

### 2.3 - Ciclo do Nitrogênio na Natureza

O nitrogênio existe na natureza em um número variado de estados de oxidação que são determinados por inúmeras reações de óxido-redução. A maior parte destas reações são realizadas por microrganismos. A forma mais estável e abundante de nitrogênio na natureza, é o nitrogênio gasoso ( $N_2$ ).

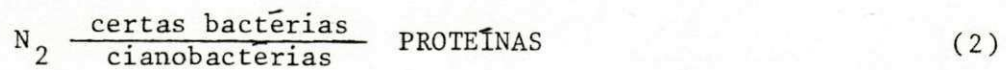
As relações e mudanças existentes entre as várias formas de compostos nitrogenados, podem ser entendidas através da descrição do ciclo do nitrogênio, que envolve os seguintes processos: fixação do nitrogênio atmosférico, amonificação, nitrificação e desnitrificação.

A atmosfera é responsável pela maior parte da reserva de nitrogênio na natureza, e a remoção desse elemento se dá através: (1) das descargas elétricas que são responsáveis pela oxidação do nitrogênio gasoso para  $N_2O_5$ , que se combina com água, formando ácido nítrico, o qual chega à terra através da chuva, e (2) através da atividade de bactérias e cianobactérias fixadoras do nitrogênio.

Plantas, animais e microrganismos necessitam de formas específicas de nitrogênio que serão incorporados à biomassa celular.

A capacidade de fixar nitrogênio atmosférico se restringe a algumas bactérias e cianobactérias que possuem a enzima nitrogenase. O processo de fixação de nitrogênio

normalmente ocorre em ambientes pobres de nitrogênio amoniacal, e oxigênio dissolvido (ATLAS e BARTHA, 1987). Nesse processo, as bactérias fixadoras e cianobactérias convertem o nitrogênio elementar para proteínas:

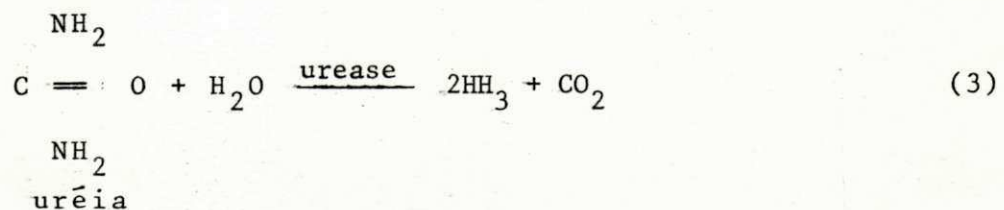


As bactérias que fixam nitrogênio atmosférico podem ser (1) aeróbias heterótrofas: Azotobacter sp, Klebsiella, Bacillus polymyxa, Beijerinckia, Mycobacterium flavum e Spirillum lipoferum, (2) anaeróbias heterótrofas: Clostridium sp e Desulfovibrio, (3) fotossintéticas: Chromatium, Chlorobium, Rhodospirillum, Thiodopseudomonas e Rhodomicrobium (BROCK et alii, 1984).

A conversão bioquímica de nitrogênio orgânico para amônia, ou amonificação, é realizada por muitos microrganismos e animais.

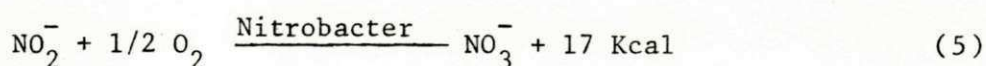
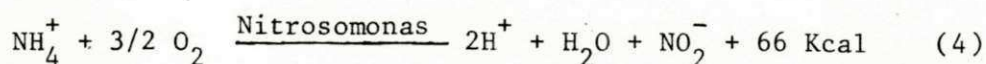
A formação de amônia, pela ação de bactérias saprófitas, ocorre em condições aeróbicas ou anaeróbicas, através da conversão de substâncias protéicas não assimiláveis, ou seja do nitrogênio orgânico remanescente dos corpos de animais e vegetais mortos.

A urina dos animais, que contém uréia, um sub-produto da quebra metabólica de proteínas, é hidrolizada sob a ação da enzima urease, resultando na liberação de amônia:



Uma terceira etapa do ciclo do nitrogênio é a nitrificação, caracterizada pela oxidação da amônia ou íon amônio para o íon nitrito, e posteriormente para íons nitrato.

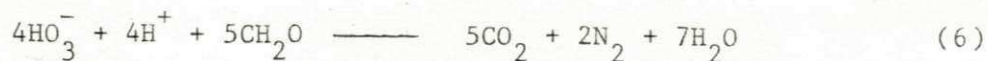
A conversão de amônia para nitrato, com conseqüente geração de energia, é um processo com dois estágios, envolvendo dois grupos de bactérias, Nitrosomonas e Nitrobacter:



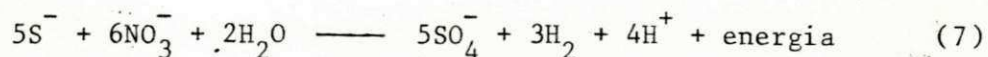
De acordo com REEVES (1972) algumas bactérias quimioautótrofas entre as quais Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosocystis e Nitrosogloes, participam também do processo de nitrificação, embora em menor proporção. Essas bactérias usam como fonte de carbono, o dióxido de carbono, e obtêm energia através da oxidação de substratos inorgânicos.

A nitrificação é uma etapa muito importante no ciclo do nitrogênio, uma vez que previne a descarga de sais de amônio em corpos receptores, os quais são mais tóxicos para peixes que o nitrato.

A desnitrificação (último estágio do ciclo do nitrogênio) é um processo anaeróbico de redução bioquímica de formas oxidadas de nitrogênio, tais como nitrito, e nitrato para nitrogênio gasoso. Para que o processo ocorra, compostos de carbono orgânico são oxidados de acordo com a equação abaixo:



Um exemplo de organismo quimioautótrofo desnitrificante é o Thiobacillus desnitrificans que promove a desnitrificação de acordo com a reação abaixo:



As bactérias heterótrofas, tais como, Micrococcus, Serratia, Pseudomonas e Achromobacter, também atuam como desnitrificantes, quando concentrações de oxigênio são baixas. Essas bactérias anaeróbio-facultativas fazem parte da flora bacteriana normal do esgoto, e podem realizar respiração aeróbia.

### 2.3.1 - Ciclo do nitrogênio em sistemas aquáticos

Em ecossistemas aquáticos, as formas de nitrogênio disponíveis para os fungos, bactérias e plantas são principalmente, a amônia, e o nitrato. No caso específico de lagos, a forma disponível mais abundante é o nitrogênio gasoso, devido ao seu uso limitado pelos microrganismos, e a constante difusão de nitrogênio atmosférico na massa líquida (GOLDMAN e HORNE, 1983).

O processo de fixação de nitrogênio gasoso em ambientes aquáticos, envolve poucos gêneros de bactérias e cianobactérias. Muitas das cianobactérias (ex. Anabaena e Nostoc



toc) possuem heterocistos, que são as estruturas onde a enzima nitrogenase é encontrada. Os heterocistos são formados somente em ambientes deficientes de nitrogênio (POSTGATE, 1978). Esse autor também afirma que a cianobactéria unicelular Gleocapsa, não possui heterocistos, mas é capaz de fixar nitrogênio sob condições microaerófilas.

Em lagos ricos em compostos de nitrogênio, a enzima nitrogenase presente nas células de algas, tem sua atividade inibida devido à presença de amônia. No entanto, a fixação do nitrogênio pode ocorrer em concentrações elevadas de nitrato.

A fixação do nitrogênio gasoso também ocorre, embora em pequenas quantidades, através de relações simbióticas. A associação entre a Azolla e a cianobactéria Anabaena é um dos mais eficientes sistemas de fixar nitrogênio. As altas taxas de fixação do nitrogênio são quase sempre atribuídas ao suprimento de resultado fotossintético de hospedeiros que fixam nitrogênio gasoso endossimbioticamente, permitindo que a fixação continue a noite. A avenca aquática Azolla é utilizada como fertilizante de nitrogênio, em campos de arroz no Sudoeste da África (FAY, 1983).

Em ambientes aquáticos eutróficos, o nitrogênio orgânico é o mais abundante, variando da forma mais simples, a uréia, até moléculas mais complexas, as proteínas.

Em ecossistemas aquáticos, a amônia origina-se das transformações bioquímicas da uréia, e indiretamente da fi\_

xação do nitrogênio gasoso, e a quantidade presente dependerá das taxas de excreção animal, da absorção pelas plantas e oxidação bacteriana.

O aspecto da toxicidade de amônia para plantas e animais aquáticos é de grande importância uma vez que, a amônia, na forma de íon ( $\text{NH}_4^+$ ) não é tóxica, mas estando presente como  $\text{NH}_3$  em concentrações relativamente elevadas, associada a altos valores de pH, se torna extremamente tóxica. Concentrações da ordem de  $0,5 \text{ N-NH}_4/1$ , com valores de pH entre 7,5 e 9,0, inibem rapidamente a fotossíntese de cianobactérias e algumas diatomáceas em ambientes estuarinos. Certos componentes de zooplâncton, como a *Daphnia*, conseguem sobreviver a uma concentração de  $8 \text{ mg NH}_4\text{-N}/1$ . Já para muitas algas os efeitos tóxicos da amônia só ocorrem a concentrações de  $100 \text{ mg N-NH}_4/1$ , no entanto, outras espécies podem viver em concentrações maiores que  $500 \text{ mg N-NH}_4/1$  (GOLDMAN e HORNE, 1983). ABELIOVICH e AZOV (1976), afirmam que em lagoas de estabilização a toxicidade de amônia para algas, ocorre à concentração de  $2 \text{ mM}$  e valores de pH acima de 8,0.

A amônia na forma de hidróxido de amônio, torna-se tóxica para animais aquáticos. A toxicidade varia não somente com o pH, mas também com a temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, dureza e conteúdo de sais na água (GOLDMAN e HORNE, 1983).

Em lagoas de estabilização, a degradação do nitrogênio orgânico em amônia (amonificação) ocorre tanto em la

goas anaeróbias como em facultativas, e em menor proporção nas lagoas de maturação.

O nitrato é uma outra fonte de nitrogênio preferida pelos organismos aquáticos e em lagos e riachos é a forma de nitrogênio inorgânico mais abundante.

Em ambientes aquáticos aeróbios com relativa abundância de amônia, a concentração de nitrato aumenta, como consequência da oxidação da amônia através da atividade das bactérias nitrificantes. Essas bactérias estão presentes no solo e em pequeno número na água. Em lagos estratificados, o desenvolvimento dessas bactérias se dá especialmente até a termoclina onde ambos, a amônia e oxigênio dissolvido estão presentes. Abaixo da termoclina, onde prevalecem condições anaeróbias, a fixação do nitrogênio não ocorre, e portanto há um acúmulo de amônia.

Nas lagoas de estabilização, a nitrificação ocorre, mais frequentemente, nas lagoas de maturação devido às condições necessárias que esses reatores oferecem para a ocorrência da oxidação de amônia. De acordo com BROCK et alii (1984), as bactérias nitrificantes desenvolvem-se bem em efluentes de esgoto, porque são ambientes ricos em amônia.

O nitrato é um nutriente que não é requerido em grandes quantidades, por plantas, não causando como a amônia, problemas de toxicidade para o plancton de lagos e rios, uma vez que sua concentração nesses ambientes aquáticos não excede a 1 mgN/l (GOLDMAN e HORNE, 1983).

Ambientes anaeróbios, perdem nitrogênio pois o nitrato pode ser desnitrificado para nitrogênio gasoso pela ação de bactérias anaerobio-facultativas.

#### 2.4 - Remoção de Nitrogênio em Lagoas de Estabilização

O nitrogênio presente no esgoto, origina-se de excreções humanas e despejos industriais. Águas residuárias predominantemente domésticas, contêm de 15 a 50 mgN/l, sendo que cerca de 60% está na forma de amônia, e o restante na forma de nitrogênio orgânico.

Quando o efluente final de uma estação de tratamento de esgoto tiver que ser lançado em corpos receptores, a remoção de nitrogênio torna-se uma importante etapa do processo de tratamento.

O nitrogênio presente em águas residuárias (ex. esgoto doméstico) pode ser removido através de processos físico-químicos e biológicos. São considerados processos físico-químicos, a volatilização da amônia, a troca iônica, a cloração de deflexão, a degradação térmica dos sais de amônia, e a eletrodialise. A remoção biológica é principlmente representada pela incorporação de nitrogênio à massa celular de microrganismos, e pelos processos de nitrificação-desnitrificação (HARASAWA et alii, 1970; McGARRY e TONGKASAME, 1971, citados por PRZYTOCKA-JUSIAK et alii, 1984). Nenhum dos processos acima citados é, no entanto,

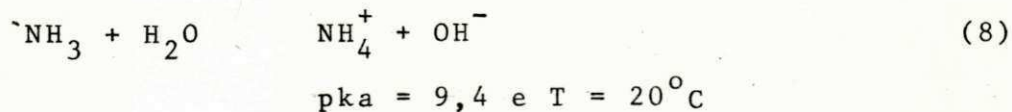
completamente eficiente, na remoção de nitrogênio, já que em águas residuárias são encontradas várias formas nitrogenadas que requerem condições específicas para serem removidas.

As águas residuárias que chegam a uma lagoa de estabilização, são condicionadas à influência de atividades químicas, físicas e biológicas, que afetarão diretamente as formas de nitrogênio no sistema. A remoção de nitrogênio, em lagoas, ocorre através dos seguintes processos:

- 1) volatilização da amônia
- 2) nitrificação-desnitrificação
- 3) assimilação por microrganismos

#### 2.4.1 - Remoção de nitrogênio por volatilização da amônia

A hidrólise da uréia, e a degradação de compostos orgânicos, são responsáveis pela produção da amônia que é encontrada em equilíbrio na água, entre a forma gasosa ( $\text{NH}_3$ ) e a forma iônica ( $\text{NH}_4^+$ ), de acordo com a equação:



Esta reação é altamente dependente do pH e da temperatura. Valores alcalinos de pH favorecem a presença da forma molecular ( $\text{NH}_3$ ). De acordo com IDELIOVITCH e MICHAEL

(1981), toda a amonia é encontrada na forma iônica a 20°C, e pH 7,0, enquanto que num pH 11,5, e sob a mesma temperatura, toda a amonia encontra-se na forma gasosa. A predominância da forma gasosa favorece a ocorrência do processo de volatilização da amonia. Sua eficiência em lagoas, depende, portanto, da temperatura da água, dos valores de pH, e tempo de detenção hidráulica (IDELIOVITCH e MICHAIL, 1981). Esses autores concluíram que na estação do verão, com a temperatura variando entre 25 e 30°C, a eficiência de remoção da amonia, por volatilização foi cerca de 70% para um sistema de lagoas operado com tempo de detenção de 7 dias. Com o aumento do tempo de detenção para 14 dias, a eficiência de remoção aumentou para 95%. Por outro lado, no inverno, quando a temperatura atingiu valores entre 10 e 20°C, as eficiências de remoção da amonia para tempos de detenção de 7 e 14 dias, foram de 55-60% e 70-75%, respectivamente.

Para que ocorra o processo de volatilização da amonia, em lagoas de estabilização é necessário que existam condições favoráveis para que a amonia saia da forma solúvel para a forma gasosa. A atividade fotossintética de algas aumenta o pH da massa líquida, e parece ser um fator importante para a eficiência desse processo. REED (1985), estudando a remoção de nitrogênio em lagoas, concluiu que grandes taxas de volatilização da amonia ocorrem com valores de pH entre 10 e 12, e que é o processo mais eficiente para remover nitrogênio. No entanto, FERRARA e AVCI (1982), concluíram que o principal mecanismo de remover amonia não

foi a volatilização, e sim, a atividade biológica de microrganismos.

PANO e MIDDLEBROOKS (1982), associaram remoção de amônia com tratamento avançado de águas residuárias, e concluíram que em lagoas facultativas, o desprendimento da amônia era o processo mais eficiente para remover nitrogênio. As lagoas facultativas analisadas eram 3 (três) reatores primários com profundidade de 1,22 m e tempo de detenção hidráulica de 100 dias. Os resultados da pesquisa permitiram estabelecer que a 20°C e com pH entre 8,0 e 8,4, a remoção de nitrogênio amoniacal alcançou 98%, e que quando a temperatura aumentou para 25°C, a eficiência diminuiu para 92%. Os autores atribuíram tal comportamento aos efeitos da estratificação térmica, e as pobres condições de mistura prevalentes acima de 20°C.

Um aspecto importante relacionado à volatilização de amônia é a recarbonatação natural da massa líquida da lagoa pela absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Esse processo baixa o pH do meio pela conversão dos hidróxidos para carbonatos. A ocorrência da recarbonatação atua no sentido da redução das taxas de volatilização de amônia, e esse efeito é agravado na estação do inverno, como consequência do abaixamento da temperatura que facilita a absorção e dissolução do CO<sub>2</sub>.

#### 2.4.2 - Remoção de nitrogênio por nitrificação-desnitrificação

A remoção de nitrogênio por nitrificação-desnitrificação ocorre através de processos oxidativos da amônia para nitrato (nitrificação) e então para nitrogênio gasoso (desnitrificação).

Em lagoas de estabilização, as taxas de nitrificação-desnitrificação são mínimas podendo ser atribuídas a baixas concentrações de bactérias nitrificantes que se tornam insuficientes para a oxidação da amônia. Esse pequeno número de organismos nitrificadores pode ser consequência da inibição causada por algas ou adsorção a partículas que sedimentam na zona anaeróbia das lagoas (FERRARA e AVCI, 1982). As bactérias nitrificantes, são aeróbias estritas, e como em lagoas (principalmente as facultativas) a zona aeróbia é relativamente pequena, esses organismos não encontram condições favoráveis para crescimento. Um fator que contribui para baixas taxas de nitrificação-desnitrificação em lagoas é o ciclo de aerobiose e anaerobiose verificado nesses reatores, respectivamente durante o dia e a noite. O efeito inibitório de altas concentrações de oxigênio dissolvido sobre a desnitrificação é evidente uma vez que previne a formação da enzima nitrato redutase, necessária à transferência dos elétrons finais para nitrato (BROCK et alii, 1984).

Para REED (1985) a nitrificação não é provavelmente



o melhor método para remover nitrogênio de lagoas de esta-  
bilização mas sim, a volatilização da amônia e deposições  
bênticas.

#### 2.4.3 - Utilização das formas de nitrogênio por orga- nismos aquáticos.

Para sobrevivência, crescimento e reprodução, cada  
organismo utiliza nutrientes sob várias formas, de acordo  
com suas preferências e limitações.

O nitrogênio está presente em ecossistemas aquáti-  
cos com mais abundância na forma gasosa. Pequenas quantida-  
des existem nas formas combinadas de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito  
( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e uréia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) e compostos orgâ-  
nicos dissolvidos.

O nitrogênio elementar pode ser utilizado por algu-  
mas espécies de cianobactérias. Outras cianobactérias e  
a maioria das algas utilizam compostos de nitrogênio inor-  
gânico, como sais de amônio, e em quantidades bem menores,  
nitrito. Em habitats naturais a principal fonte de nitrogê-  
nio são amônia e nitrato, porém em águas altamente poluí-  
das os compostos nitrogenados orgânicos podem tornar-se im-  
portante e poderão existir uma relação entre alguns dos pro-  
dutos de excreção animal (amônia, uréia, ácido úrico e ami-  
noácidos), e o crescimento de certos flagelados (ROUND,  
1981).

Em culturas artificiais o nitrogênio geralmente é suprido como sais de amônia e nitrato, embora a primeira forma seja a preferida da maioria das algas. As algas móveis Euglena gracilis, Trachelomonas abrupta, Trachelomonas pertyi e Phacus pyrum não podem utilizar nitrato, de acordo com PROVASOLI (1958) citado por ROUND (1981). Euglena utiliza amônia como sua única fonte de nitrogênio inorgânico, e sua presença pode estar mais dependente de altos níveis de amônia no esgoto que de fontes de carbono (PROVASOLI, 1958 e PROVASOLI e PINTER, 1960, citados por KONIG, 1984).

O nitrogênio na forma oxidada de nitrato, pode ser assimilado pelas algas autôtrofas estritas. GIBSON (1984) evidencia que algumas bactérias púrpuras utilizam nitrato como fonte de nitrogênio ou acceptor de elétrons.

### 2.5 - O Ciclo do Fósforo na Natureza e em Sistemas Aquáticos

Ao contrário de carbono e nitrogênio, o fósforo é um elemento escasso na natureza. O fósforo não sofre, comumente, reações de oxido-redução devido ao potencial de redução de fosfato (para fosfito, hipofosfito e fosfina) ser muito baixo. Por essa razão, a reação raramente ocorre em ambientes naturais (BROCK et alii, 1984).

Em ecossistemas aquáticos, o fósforo origina-se fun

damentalmente de rochas, como resultado da erosão natural, ou de águas residuárias.

A concentração de fósforo inorgânico dissolvido em água, sofre alterações como consequência da absorção por plantas e animais, assim como pela excreção desses últimos. A decomposição de fósforo orgânico dissolvido e/ou particulado é feita por microrganismos, através do processo de autólise, com o desprendimento de fósforo inorgânico.

O fósforo inorgânico dissolvido é utilizado por plantas e microrganismos, através de reações de fotossíntese e quimiossíntese (WELCH, 1980).

O fosfato normalmente não é reduzido por atividade microbiana, parecendo ser utilizado por microrganismos do solo e sedimentos como acceptor final de elétrons, sob condições apropriadas. Provavelmente este é utilizado como acceptor final de elétrons na ausência de oxigênio, nitrato e sulfato. O produto final da redução de fosfato pode ser a fosfina ( $\text{PH}_3$ ) que é volátil e inflamável em contacto com o oxigênio (ATLAS e BARTHA, 1987).

O fósforo presente em lagos ocorre em ambas as formas, orgânica e inorgânica. A maior parte do fósforo orgânico encontra-se presente na biomassa viva e morta. Grande parte do fósforo inorgânico está sob forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) e em menor quantidade, monofosfato ( $\text{HPO}_4^{-2}$ ).

Em lagoas de estabilização, muitas das contribuições de fósforo inorgânico provêm da quebra metabólica de

proteínas, e eliminação do fosfato liberado na urina. O uso de detergentes, como substituto do sabão, tem aumentado significativamente a concentração de fósforo, contribuindo com aproximadamente metade do fósforo contido no esgoto doméstico (GOLDMAN e HORNE, 1983).

O fósforo é utilizado pelos organismos envolvidos no tratamento biológico de esgotos para reprodução e síntese do novo tecido celular. Certas algas podem absorver o fosfato em quantidades maiores que as necessárias para crescimento, que é então armazenado dentro da célula. O fosfato é a única fonte de fósforo para o crescimento do fitoplancton.

O fósforo pode ser removido da massa líquida de sistemas aquáticos, através do processo de precipitação e sedimentação de fosfatos. Em lagoas de estabilização, segundo BUCKSTEEG (1982), os fosfatos podem ser removidos através da incorporação nas células de algas, durante o crescimento, assim como por precipitação na forma de fosfato de cálcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), devido ao aumento do pH, como consequência da atividade de algas.

Em lagoas de estabilização, valores de pH acima de 9,0, ocorrem durante o dia quando a atividade fotossintética das algas é maior, o que favorece a precipitação do fósforo como ortofosfato insolúvel. A noite, quando somente ocorre a atividade respiratória, há uma diminuição do pH, promovendo a ressolubilização do fósforo na massa líquida.

## 2.6 - Remoção de Fósforo em Lagoas de Estabilização

O fósforo ocorre na natureza nas formas de fosfatos orgânicos e inorgânicos. Em águas residuárias e fosfato está presente nas formas orgânicas, ortofosfato e polifosfatos. A fração ortofosfato resulta da degradação do fósforo orgânico e polifosfatos por microrganismos.

De acordo com NARASIAH e MORASSE (1984), o tratamento primário remove de 5 a 20% do fósforo total, enquanto que tratamento secundário pode remover de 10 a 30%. Eles afirmam que ortofosfato em efluente de lagoas constituem uma grande fração de fósforo total, principalmente na estação de verão, como consequência de uma maior ocorrência da hidrólise de polifosfatos.

A remoção de fósforo do efluente de lagoas de estabilização, torna-se necessária para o controle de eutrofização de corpos receptores, uma vez que a sua remoção apresenta um real e efetivo poder de controlar o crescimento de algas em habitats naturais.

A remoção de fósforo inorgânico da massa líquida é o resultado de: (1) coagulação e adsorção físico-química, (2) absorção pelas algas. Adsorção e coagulação parecem desempenhar um papel importante na ocorrência de rápida remoção de grandes concentrações de ortofosfato ( $PO_4^{-3}$ ). A absorção biológica é o principal meio de remover fósforo em lagoas de estabilização, e a eficiência do processo é função do tempo de detenção, taxa de crescimento, concentra

ção da biomassa de algas e o conteúdo de fósforo no tecido celular.

Reduções de fósforo em tratamento de esgotos variando de 10 a 90% ou mais, são relatadas como consequência da atividade de algas. No entanto, essa afirmação parece ser incorreta e impraticável devido a dificuldade de se realizar a colheita do tecido celular de algas (BOGAN et alii, 1960).

SILVA (1984) operando lagoas facultativas primárias rasas em escala piloto, tratando esgoto doméstico bruto, encontrou remoções máximas de fósforo total e fósforo solúvel acerca de 41-47% e 16-26%, respectivamente, para tempos de detenção de 9,5-18,9 dias. Em lagoas anaeróbias rasas com carga orgânica volumétrica de 160 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d, SILVA (1983), relatou remoções de fósforo total de 44%, enquanto que para fósforo solúvel, a remoção foi de 10%. Por outro lado, HOUNG e GLOYNA (1984), desenvolveram um modelo cinético para remoção e recirculação de fósforo em lagoas, baseado em cinética de 1<sup>a</sup> ordem, e fluxo pistão. Através desse modelo eles sugeriram que, se a eficiência de remoção de DBO é 90%, o fósforo seria removido em 45%.

Em lagoas de estabilização os principais mecanismos de remover fósforo são:

- 1) sedimentação, como fósforo orgânico na biomassa dos microrganismos, e
- 2) precipitação como ortofosfato insolúvel.

Os microrganismos incorporam grande quantidade de ortofosfato, durante o seu crescimento, sendo portanto um componente da fração de fósforo orgânico na massa líquida da lagoa. Por ocasião da morte destes microrganismos, e subsequente sedimentação, o fósforo incorporado na biomassa é removido. A precipitação de fósforo ocorre como ortofosfato insolúvel, quando o pH atinge valores acima de 9,0. Sob valores baixos de pH, a precipitação não é completa.

A eficiência de remoção de fósforo em lagoas é mais acentuada se a quantidade desse nutriente que deixa a coluna líquida, por sedimentação ou precipitação for maior que aquela que retorna por mineralização ou ressolubilização (MARA e PEARSON, 1986).

#### 2.6.1 - Utilização das formas de fósforo por microrganismos aquáticos

Microrganismos incluindo alguns autótrofos são capazes de utilizar fosfatos orgânicos para crescimento. No entanto, esses fosfatos para serem disponíveis, primeiramente são hidrolizados pela enzima fosfatase. Esta enzima libera os fosfatos contidos nas moléculas orgânicas. As cianobactérias armazenam grande quantidade de fósforo, como grânulos de ortofosfato no interior da célula.

Várias algas são capazes de usar o fósforo contido nos detergentes, lançados no esgoto (STEWART e ALEXANDER,

1971; FRANCISCO e WEISS, 1973, citados por GOLDMAN e HORNE, 1983).

A alga Scenedesmus utiliza fósforo em quantidades iguais tanto na forma particulada, como na solúvel. Em geral o fitoplâncton somente utiliza no crescimento o fósforo, na forma de ortofosfato ( $PO_4^{-3}$ ).

Recentes trabalhos sobre metafosfatos e polifosfatos mostraram a presença desses compostos nas algas Chlorella, Ankistrodesmus e Hydrodictyon (ROUND, 1981).



### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Descrição do Sistema Experimental

O sistema de lagoas profundas em escala piloto, no qual foi realizada a pesquisa, estava localizado na EXTRA BES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Es gotos Sanitários) e consistia de 5 (cinco) lagoas dispos tas em série, sendo uma lagoa anaeróbia (A<sub>7</sub>), seguida de uma facultativa secundária (F<sub>9</sub>) e 3 (três) de maturação (M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub>). As paredes verticais das lagoas, assim como o fundo, foram construídas em alvenaria, e revestidas com ar gamassa de cimento e areia.

A figura 3.1 ilustra esquematicamente o sistema ex perimental, enquanto a figura 3.2 mostra o sistema de la goas piloto em planta e corte.

As características físicas do sistema estudado são mostradas no quadro 3.1, e as características operacionais, para os experimentos tipo 1 e 2 são apresentados nos qua dros 3.2 e 3.3, respectivamente.

#### 3.2 - Alimentação das Lagoas

A lagoa anaeróbia A<sub>7</sub>, foi alimentada com esgoto bru

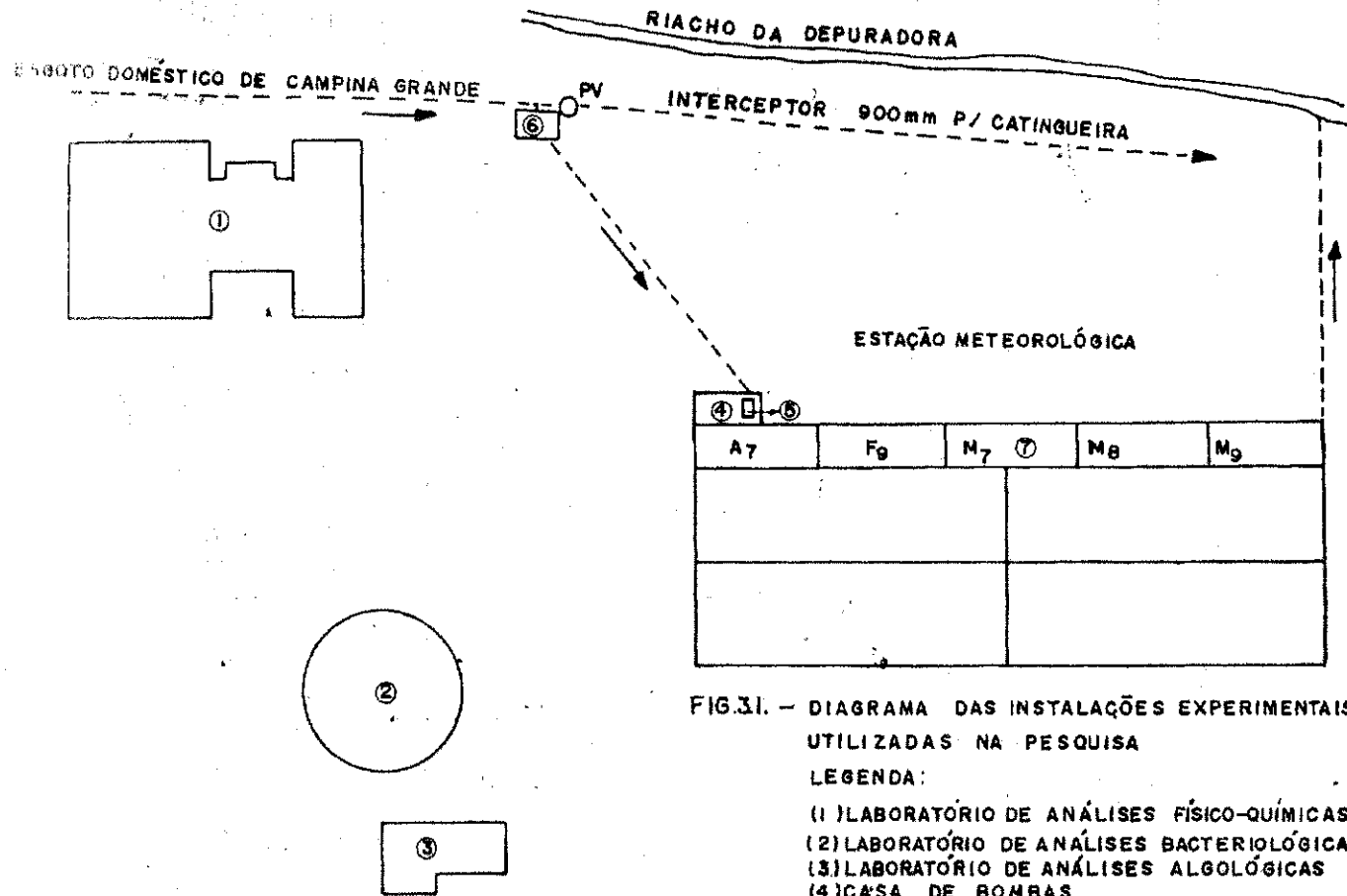
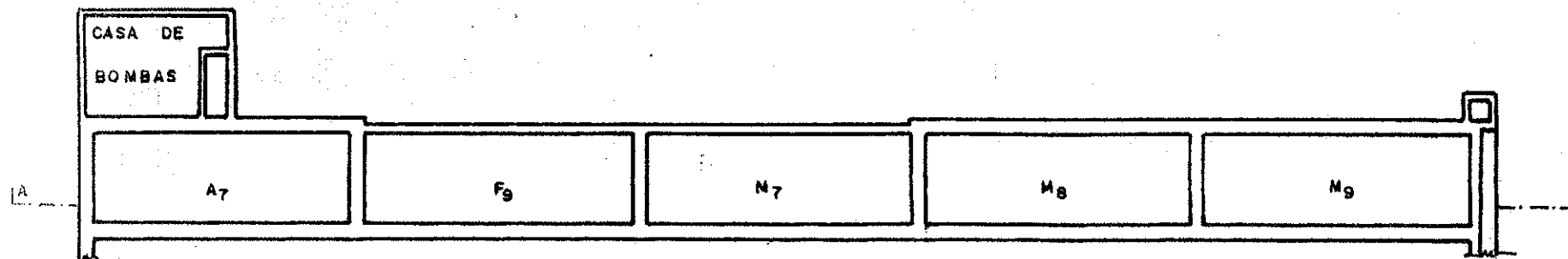


FIG.31. - DIAGRAMA DAS INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS UTILIZADAS NA PESQUISA

LEGENDA:

- (1) LABORATÓRIO DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS
- (2) LABORATÓRIO DE ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS
- (3) LABORATÓRIO DE ANÁLISES ALGOLÓGICAS
- (4) CASA DE BOMBAS
- (5) TANQUE DE NÍVEL CONSTANTE
- (6) POÇO ÚMIDO
- (7) SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO



PLANTA BAIXA  
 ESC. — 1:250

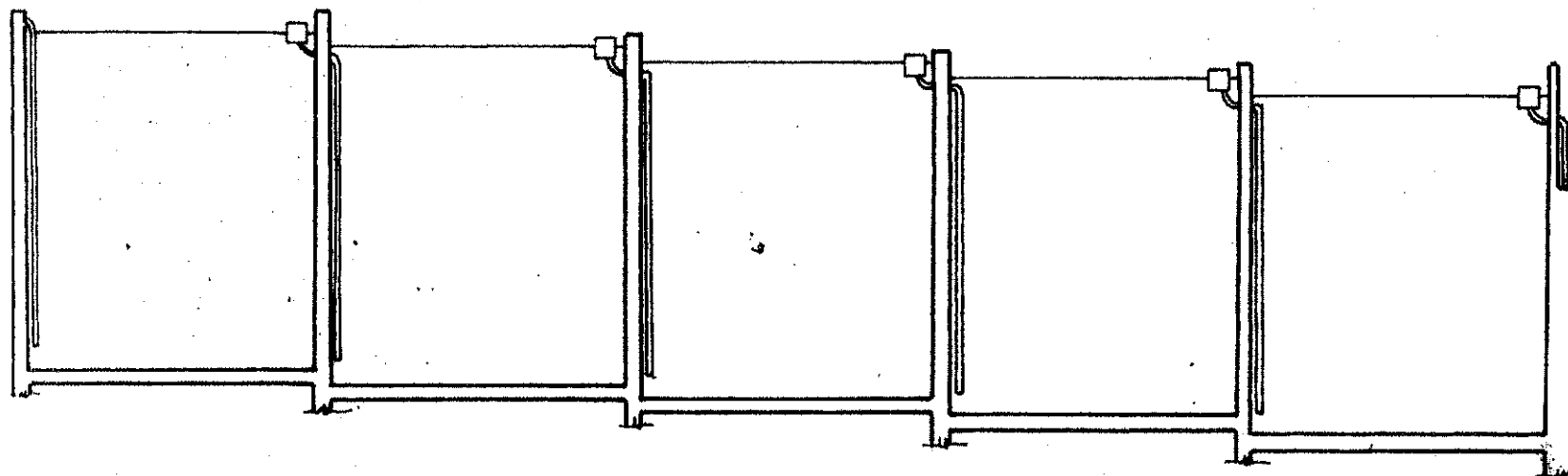


FIG. 3.2—SISTEMA DE LAGOAS EM SÉRIE UTILIZADO NA PESQUISA

CORTE A A  
 ESC. HORIZONTAL — 1:250  
 ESC. VERTICAL — 1:50

Quadro 3.1 - Características físicas das lagoas profundas em série durante o Experimento tipo 1 e 2

Lagoas	Largura (m)	Comprimento (m)	Profundidade (m)	Área Superficial (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
A <sub>7</sub>	3,35	10,0	2,20	33,5	73,7
F <sub>9</sub>	3,35	10,0	2,20	33,5	73,7
M <sub>7</sub>	3,35	10,0	2,20	33,5	73,7
M <sub>8</sub>	3,35	10,0	2,20	33,5	73,7
M <sub>9</sub>	3,35	10,0	2,20	33,5	73,7

Quadro 3.2 - Características operacionais das lagoas profundas em série com tempo de detenção hidráulica total de 25 dias

Lagoas	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Carga Orgânica Superficial Kg.DBO <sub>5</sub> /ha.dia
A <sub>7</sub>	14,74	5	638
F <sub>9</sub>	14,74	5	400
M <sub>7</sub>	14,74	5	251
M <sub>8</sub>	14,74	5	141
M <sub>9</sub>	14,74	5	97

Quadro 3.3 - Características operacionais das lagoas profundas em série com tempo de detenção hidráulica total de 40 dias

Lagoas	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Carga Orgânica Superficial kg.DBO <sub>5</sub> /ha.dia
A <sub>7</sub>	9,216	8	474,8
F <sub>9</sub>	9,216	8	227,0
M <sub>7</sub>	9,216	8	138,1
M <sub>8</sub>	9,216	8	77,8
M <sub>9</sub>	9,216	8	52,5

to doméstico do sistema de Campina Grande, Paraíba. O esgoto utilizado para a alimentação da lagoa A<sub>7</sub> era bombeado de um tanque de nível constante, com o uso de uma bomba peristáltica de vazão variável WATSON-MARLOW modelo HRSV, (Falmouth-England). Por sua vez, o tanque de nível constante era mantido cheio por intermédio de uma linha de recalque de 50 mm de diâmetro proveniente de um poço úmido situado anexo a um dos poços de visita do "Interceptor da Depuradora" que atravessa o terreno da EXTRABES. O recalque do esgoto do poço úmido para o tanque de nível constante era feito com o uso de uma bomba centrífuga submersível do tipo FLYGT (Dynapac Equipamentos Industriais Ltda. - São Paulo) com 1,2 HP e 3380 rpm.

### 3.3 - Metodologia da Pesquisa

Para atender aos objetivos da pesquisa, dados relativos a dois tipos de Experimentos, foram levados em consideração:

- a) Experimento tipo 1 - Monitoramento do efluente das lagoas profundas em série, durante dois períodos distintos. No primeiro período, de julho de 1985 a dezembro de 1986, o sistema foi operado com um período de detenção hidráulica total de 25 dias, enquanto que no segundo período, de janeiro de 1987 a dezembro de 1987, o período de detenção hidráulica total foi de 40 dias. Para

fins de análise comparativa de resultados nos dois períodos, somente os dados de janeiro de 1986 a dezembro de 1986, do primeiro período foram considerados.

- b) Experimento tipo 2 - Estudo da distribuição vertical de parâmetros nos 5 (cinco) reatores da série, no período entre 22 de março a 5 de novembro de 1987 (tempo de detenção de 40 dias), com base em experimentos de 24 horas de duração, e de frequência semanal.

### 3.3.1 - Caracterização dos Tipos de Experimento

O monitoramento do sistema de lagoas em escala piloto (Experimento tipo 1) nos dois períodos (tempos de detenção de 25 e 40 dias) foi baseado nos resultados das análises de amostras coletadas uma vez por semana (às terças-feiras), às 08 horas da manhã.

O estudo da distribuição vertical de parâmetros (Experimento tipo 2) foi levado a efeito somente no segundo período (tempo de detenção 40 dias). Este estudo consistia de experimentos semanais com duração de 24 horas, cuja coleta de amostras, e medição de temperatura ao longo da profundidade do reator era realizada a cada 4 horas. Além disso eram feitas medições da velocidade do vento, e da radiação solar acumulada, bem como eram coletadas amostras da coluna de água (COL).

### 3.3.2 - Coleta de Amostras

#### 3.3.2.1 - Coleta de Amostras no Experimento Tipo 1

A coleta de amostras do efluente de cada reator do sistema experimental era feita às 8 horas da manhã, às terças-feiras, e consistia na coleta de cerca de 3 litros de amostra. O esgoto bruto era coletado no tubo de entrada do primeiro reator da série (A<sub>7</sub>) enquanto que os efluentes e ram coletados nos dispositivos de saída de cada um dos reatores.

Imediatamente após a coleta e medição da temperatura, as amostras eram encaminhadas ao laboratório de físico-química para análise.

#### 3.3.2.2 - Coleta de Amostras para o Estudo da Distribuição Vertical de Parâme tros (Experimento Tipo 2)

As coletas de amostras para o estudo da distribuição vertical de parâmetros eram feitas em 10 diferentes profundidades da coluna líquida (5, 10, 15, 20, 30, 40, 70, 100, 150 e 195 cm), através de uma bomba peristáltica Watson-Marlow modelo MHRE provida de 10 (dez) canais de coleta. A coleta de amostras era feita numa plataforma móvel de coleta instalada sobre a região central da lagoa (ver

descrição no Item 3.3.4). A amostra da coluna de água era coletada nas proximidades da plataforma móvel, por imersão de um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 3,0 metros de altura provido de um dispositivo para abertura e fechamento da extremidade inferior. O conteúdo da coluna era transferido para um balde plástico de onde sub-amostras eram então coletadas.

Todas as 11 amostras coletadas em frascos padrões de DBO, a cada intervalo, eram submetidas às análises de pH, temperatura e oxigênio dissolvido. Por ser impraticável a análise das 11 amostras apenas 6 (seis) eram submetidas à determinação dos seguintes parâmetros: amônia, nitrato, fósforo ortofosfato solúvel e fósforo total. Das 6 (seis) amostras analisadas, 3 (três) eram mantidas fixas: COL, nível 5 e nível 195, e as outras três eram selecionadas através de um critério visual baseado na presença ou ausência de algas.

### 3.3.3. - Medição de temperatura ao longo da profundidade

Ao longo da profundidade de cada reator, medidas de temperatura eram feitas com o objetivo de caracterizar o ciclo diário de estratificação térmica e mistura da massa líquida.

Para a medição da temperatura das diferentes profundidades, foi utilizado um teletermômetro YSI, modelo 44TD



provido de doze canais para medição da temperatura.

Medidas de 14 profundidades eram realizadas a cada coleta, através de sensores acoplados aos canais do teletermômetro. Os sensores 1 e 2 mediam a temperatura do ar, enquanto que os restantes ficavam imersos na massa líquida nas seguintes profundidades: 10, 15, 25, 40, 55, 70, 85, 100, 115, 130, 160 e 190 cm.

#### 3.3.4 - Descrição da plataforma móvel da coleta

Para a coleta das amostras, e medição da temperatura ao longo da profundidade dos reatores no Experimento tipo 2 (estudo da distribuição vertical de parâmetros nos reatores) foi utilizada uma plataforma móvel de coleta. Esta plataforma consistia de um caixote de madeira, compartinmentado, revestido com material plástico onde eram instalados os equipamentos necessários à coleta e medição de temperatura. Para que o operador tivesse acesso ao caixote, foi instalada uma passarela de madeira sobre trilhos de ferro, removíveis, separados por uma distância de 60 cm.

Duas hastes de alumínio de seção quadrada (25 mm x 25 mm) vazadas, com 3,0 metros de altura, providas de sapatas cilíndricas de concreto (20 cm de altura, e 15 cm de diâmetro) também compunham a plataforma de coleta. A haste à esquerda do caixote era utilizada para a fixação de uma das extremidades dos tubos de sucção de amostras, em ní

veis situadas a 5, 10, 15, 20, 30, 40, 70, 100, 150 e 195 cm da superfície da massa líquida, as quais tinham a outra extremidade acoplada à bomba peristáltica. A haste situada à direita da plataforma fixava os sensores de temperatura que tinham a outra extremidade conectada aos canais do te le te r m ô m e t r o. A figura 3.3 mostra esquematicamente a plata forma de co l e t a.

### 3.3.5 - Métodos analíticos

A maioria dos métodos analíticos utilizados na an á l i s e das amostras seguiram as recomendações do S t a n d a r d M e t h o d s f o r t h e E x a m i n a t i o n o f W a t e r w a t e r w a t e r ( 1 9 8 5 ). No entanto, uma referência às técnicas e aos equipamentos empregados nesta pesquisa faz-se necessária.

#### 3.3.5.1 - pH

Foi determinado pelo método potenciométrico de a c o r d o com a técnica padrão do S t a n d a r d M e t h o d s ( 1 9 8 5 ) utilizando-se um medidor pH meter p W 9 4 1 8 com eletrodo c o m b i n a d o P Y E U N I C A M.

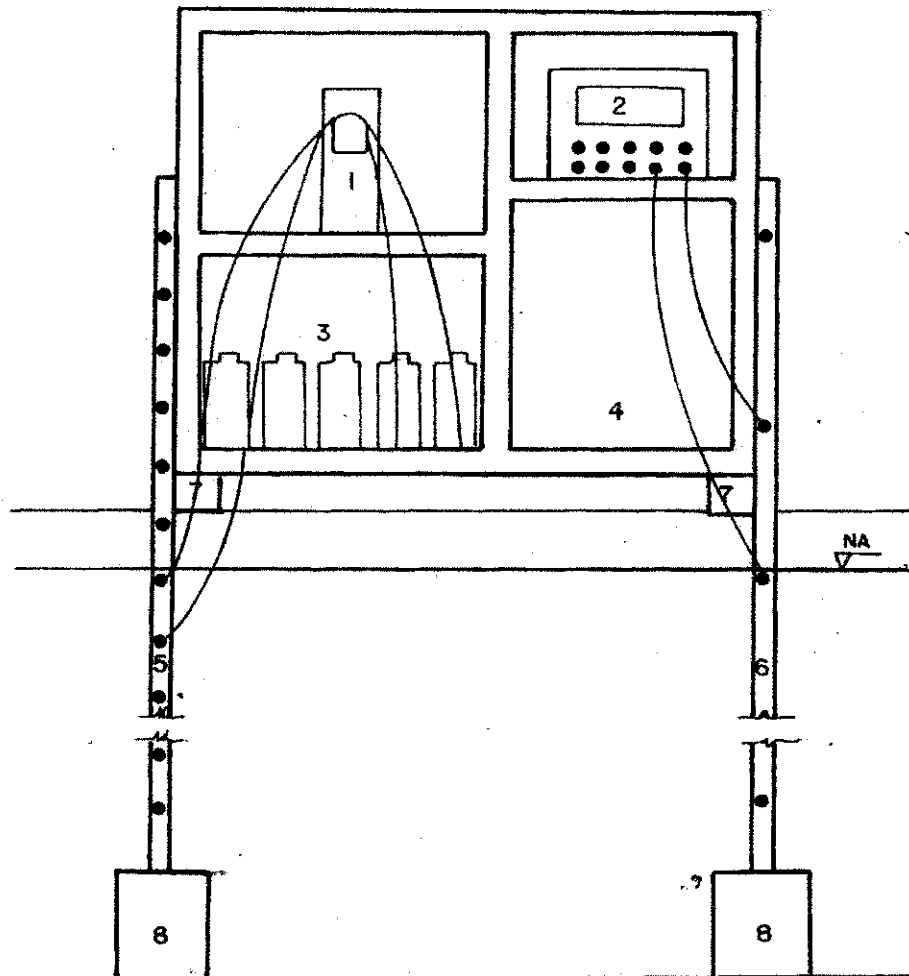


FIG.3.3-REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PLATAFORMA DE COLETA

- (1) BOMBA PERISTÁLTICA
- (2) TELETERMÔMETRO
- (3) COMPARTIMENTO P/ACOMODAÇÃO DOS FRASCOS DE COLETA
- (4) COMPARTIMENTO P/ TOMADAS DE ENERGIA ELÉTRICA
- (5) HASTE P/ FIXAÇÃO DAS MANGUEIRAS DE SUÇÃO EM DIFERENTES NÍVEIS
- (6) HASTE P/ FIXAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA EM DIFERENTES NÍVEIS
- (7) TRILHOS DE FERRO
- (8) BLOCOS DE CONCRETO

### 3.3.5.2 - Oxigênio dissolvido

As medidas desse parâmetro foram feitas com o uso de eletrodo de membrana seletiva de oxigênio acoplado a um medidor YSI, modelo 54 ABP, segundo Standard Methods (1985).

### 3.3.5.3 - Temperatura

- a) Temperatura ao longo da profundidade - A temperatura medida a diferentes profundidades de cada reator, foi feita com o uso de um teletermômetro do tipo YSI, modelo 44TD, provido de doze canais para medição de temperatura.
- b) Temperatura das amostras de efluente nos experimentos de monitoramento (Experimento tipo 1) e amostras da coluna de água no estudo da distribuição vertical de parâmetros nos reatores (Experimento tipo 2). As leituras de temperatura em ambos os experimentos, foram feitas com o uso de um termômetro de filamento de mercúrio, com escala interna de temperatura variando de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $160^{\circ}\text{C}$ . As leituras eram feitas na hora da coleta.

### 3.3.5.4 - Demanda Bioquímica de Oxigênio - $\text{DBO}_5$

As determinações da  $\text{DBO}_5$  foram realizadas segundo

procedimento do Standard Methods (1985), sendo utilizado o método dos frascos padrões de DBO, através da técnica da diluição por pipetagem direta.

O oxigênio dissolvido foi medido de acordo com a técnica descrita no item 3.3.5.2.

Os frascos padrões de DBO eram incubados durante 5 dias em incubadora controlada por termostato provido de sensor de temperatura, permitindo temperatura de incubação de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Os dados desse parâmetro, foram utilizados apenas para o cálculo das cargas orgânicas superficiais dos reatores.

#### 3.3.5.5 - Velocidade do vento

Para leitura da velocidade do vento, foi utilizado um anemômetro. As leituras eram feitas na hora da coleta.

A velocidade média do vento, era calculada através do quociente da diferença das leituras obtidas, e o intervalo de tempo entre as leituras.

#### 3.3.5.6 - Radiação solar

Na hora da coleta, a intervalos de 4 horas, a radiação solar acumulada era medida, através de um integrador de radiação solar (Gunn Bellani - Baird e Tatlock - England).

### 3.3.5.7 - Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio amoniacal dos Experimentos tipo 1 e 2, foi determinado através de um medidor de íons específicos ORION RESEARCH modelo IOANALYSER 407 A, ao qual foi acoplado um eletrodo específico para a determinação de amônia (ORION AMMONIA ELECTRODE modelo 9512). A técnica utilizada para essa determinação está de acordo com as recomendações do Standard Methods (1985). Por motivo de defeitos operacionais no instrumento de medição, a partir de 15 de julho de 1987, as concentrações de amônia foram determinadas pelo método de Nesslerização (Standard Methods - 1985). As leituras foram feitas num espectrofotômetro Micronal modelo B 382 a 450 nm.

### 3.3.5.8 - Nitrato

Para a determinação desse parâmetro foi utilizado o método do ácido cromotrópico de acordo com a técnica descrita no Standard Methods (1985). As leituras foram feitas num espectrofotômetro Micronal B 382 a 410 nm.

### 3.3.5.9 - Fósforo

Todas as análises para a determinação desse parâmetro, nas formas ortofosfato solúvel e fósforo total, foram feitas com amostras brutas e filtradas.

Para a filtração das amostras foi utilizado papel de filtro de fibra de vidro WHATMAN GF/C de 7,0 cm de diâmetro.

As determinações de fósforo nas formas ortofosfato solúvel e fósforo total, seguiram as técnicas do Standard Methods (1985) através do método do ácido ascórbico com o pré-tratamento recomendado.

Para a leitura das concentrações de fósforo foi utilizado um colorímetro PYE UNICAM Ltda modelo SP 15.

#### 3.3.5.10 - Clorofila a

As análises de clorofila a foram feitas em triplicata e de acordo com a técnica descrita por GOLTERMAN e CLYMO (1971), obedecendo à seguinte sequência:

- Filtrar num papel de filtro quantitativo (FRAMEX - filtração lenta - 1.500 segundos - 389/9 - faixa azul - Ø 7 cm), 20 ml de uma suspensão de  $MgCO_3 \cdot 7H_2O$  a 0,1% para conferir alcalinidade ao extrator e evitar a degradação da clorofila a para feofitina;
- Após homogeneização, filtrar 100 ml da amostra;
- Transferir os papéis de filtro para tubos graduados de centrífuga;

- Adicionar 7,0 ml de uma solução de acetona 90% (V/V). Guardar os tubos em refrigerador a 4°C, no escuro por 16 horas;
- Após este período, centrifugar os tubos por 20 minutos aproximadamente a 650 g;
- Transferir o sobrenadante para uma cuveta de 1,0 centímetro de espaço interno;
- Medir a absorvância a 663 nm (comprimento de onda melhor absorvido pela clorofila a) e a 750 nm (comprimento de onda melhor absorvido pelo material em suspensão);
- Utilizar uma prova em branco de acetona a 90% (V/V);
- Acidificar as amostras com duas gotas de ácido clorídrico 4N, homogeneizar, e ler as absorvâncias a 663 nm e 750 nm;
- Calcular a concentração de clorofila a, através da equação abaixo:

$$\text{clorofila } \underline{a} \text{ } (\mu\text{g/l}) = 2,43(\text{ODO}-\text{ODA}) \times \frac{1.000 \times \text{Vol. extrator (ml)}}{\text{K} \times \text{Vol. filtrado (l)}}$$

onde:

ODO = diferença entre absorvância a 663 nm, e a absorvância a 750 nm antes da acidificação.

ODA = diferença entre absorvância a 663 nm, e a absorvância a 750 nm após a acidificação.



K = coeficiente de extinção, para clorofila (admitindo o valor 89).

#### 3.3.5.11 - Identificação e contagem de algas

Um volume de 50 ml de cada uma das amostras selecionadas era vertido num tubo de centrífuga contendo 2 ml de formaldeído a 35% para a preservação das células de algas. As amostras eram centrifugadas a 810 g, e 40 ml do sobrenadante era descartado.

As amostras em duplicata, eram submetidas à identificação e contagem de algas, com o uso de uma câmara de Neubauer. As leituras eram feitas com o auxílio de um microscópio óptico comum de marca Olympus, e expressas em células por ml.

#### 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

##### 4.1 - Experimento Tipo 1

###### 4.1.1 - Dados meteorológicos

O quadro 4.1 mostra as médias mensais de radiação solar para o Experimento tipo 1, durante o período de janeiro de 1986, a dezembro de 1987.

Os valores máximos e mínimos de radiação solar, baseados nas médias mensais de amostras diárias, para o Experimento tipo 1, foram de respectivamente, 680,8 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (março/86) e 440,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (julho/86) para o primeiro período experimental. No segundo período experimental, o máximo valor médio de radiação solar foi 736,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (abril/87), enquanto o mínimo foi de 422,9 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (novembro/87).

###### 4.1.2 - Temperatura das amostras

O quadro 4.2 mostra os valores das temperaturas observadas durante os dois períodos experimentais do Experimento tipo 1.

No monitoramento do efluente das lagoas, durante o primeiro período experimental, a temperatura média das a

X

Quadro 4.1 - Valores médios mensais de radiação solar durante o período de janeiro/86 a dezembro/87 - Experimento tipo 1

Tempo de Detenção Hidráulica Total de 25 dias jan-dez/86	Radiação Solar (g.cal.cm <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )	Tempo de Detenção Hidráulica Total de 40 dias jan-dez/87	Radiação Solar (g.cal.cm <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )
Janeiro	631,8	Janeiro	662,5
Fevereiro	628,8	Fevereiro	639,5
Março	680,8	Março	572,9
Abril	597,6	Abril	736,0
Maio	557,7	Maio	633,5
Junho	440,0	Junho	508,9
Julho	489,7	Julho	540,1
Agosto	531,2	Agosto	614,1
Setembro	561,6	Setembro	662,5
Outubro	640,3	Outubro	707,4
Novembro	584,3	Novembro	422,9
Dezembro	631,5	Dezembro	702,6

Quadro 4.2 - Médias anuais dos valores médios mensais de pH, temperatura e clorofila a do sistema experimental durante o período de janeiro/86 a dezembro/87 - Experimento tipo 1

Reator	Tempo de Detenção Hidráulica Total de 25 dias - jan-dez / 86			Tempo de Detenção Hidráulica Total de 40 dias - jan-dez / 87		
	pH (unidades)	Temperatura (°C)	Clorofila <u>a</u> (µg/l)	pH (unidades)	Temperatura (°C)	Clorofila <u>a</u> (µg/l)
A <sub>7</sub>	7,0	25,0	--	7,2	26,0	---
F <sub>9</sub>	7,2	25,0	72,2	7,4	24,0	151,2
M <sub>7</sub>	7,4	25,0	93,0	7,7	23,5	178,5
M <sub>8</sub>	7,5	25,0	76,3	7,8	25,7	118,4
M <sub>9</sub>	7,8	25,0	132,3	7,9	25,8	64,3

mostras do reator A<sub>7</sub>, foi de 25°C, enquanto que, no segundo, a temperatura média observada foi de 26°C.

Na lagoa facultativa secundária a temperatura média observada no primeiro e segundo períodos experimentais foi de 25°C e 24°C, respectivamente.

Nas lagoas de maturação M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub>, durante o período no qual o sistema foi operado com tempo de detenção de 25 dias, a temperatura média das amostras de efluente foi de 25°C, enquanto que no segundo período experimental, as temperaturas médias foram de 25,6°C, 25,7°C e 25,8°C, respectivamente, para os reatores M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub>.

As temperaturas do sistema operado com tempo de detenção total de 40 dias foram maiores que aquelas observadas com tempo de detenção total de 25 dias, com exceção dos reatores F<sub>9</sub> e M<sub>7</sub>.

#### 4.1.3 - pH

O Quadro 4.2 mostra os valores médios de pH, verificados em cada reator do sistema experimental durante o monitoramento das lagoas. X

O valor médio de pH no efluente do reator A<sub>7</sub>, foi de 7,0, durante o primeiro período experimental, enquanto que no segundo período, o valor médio observado foi de 7,2. Já na lagoa facultativa F<sub>9</sub>, os valores médios de pH foram

de 7,1 e 7,4, respectivamente, para o primeiro e segundo períodos experimentais.

No primeiro período experimental da lagoa M<sub>7</sub>, o valor médio de pH observado foi de 7,4, enquanto que no segundo período experimental, o valor médio desse parâmetro foi de 7,7.

As lagoas M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub> apresentaram durante o período de janeiro a dezembro de 1986, valores médios respectivos, de 7,5 e 7,8, enquanto que no período de janeiro a dezembro de 1987, a lagoa M<sub>8</sub> apresentou um valor médio de pH de 7,8, e a lagoa M<sub>9</sub>, 7,9.

#### 4.1.4 - Nitrogênio amoniacal

As figuras 4.1 e 4.2 ilustram as evoluções das concentrações médias de amônia nos efluentes de cada unidade do sistema, respectivamente, nos primeiro e segundo períodos de monitoramento.

Um estudo comparativo da influência do tempo de detenção no comportamento de nitrogênio amoniacal ao longo de uma série de cinco lagoas profundas, operada com tempos de detenção de 25 e 40 dias, mostrou que as maiores concentrações médias de amônia ocorreram quando o tempo de detenção total foi de 40 dias. A lagoa M<sub>9</sub> constituiu uma exceção já que durante o segundo período experimental (tempo de detenção 40 dias) as concentrações de amônia no efluen

te de tal reator foram menores que durante o primeiro período experimental. As concentrações médias do reator M<sub>8</sub> em pelo menor, um terço do segundo período experimental, também foram menores que aquelas correspondentes ao período anterior.

O estudo da remoção de nitrogênio amoniacal mostrou que para o experimento caracterizado pelo tempo de detenção hidráulica total de 25 dias, a série de lagoas profundas apresentou um aumento da concentração média de nitrogênio amoniacal durante os meses de janeiro, fevereiro, abril e dezembro de 1986, e nos meses restantes a remoção de amônia foi bastante discreta. A máxima remoção ocorreu no mês de agosto de 1986 e atingiu 44,8% correspondendo a 17 mgN/l. No experimento com tempo de detenção hidráulica total de 40 dias, não foi observada remoção durante os meses de janeiro, fevereiro e julho. Nos outros meses, as remoções foram mais expressivas que aquelas observadas no primeiro período experimental, sendo que, no mês de dezembro de 1987, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal na série atingiu o máximo valor de 53,8%.

Foi possível observar que, no segundo período a ação de cada reator na remoção de nitrogênio amoniacal foi bastante mais pronunciada que durante o primeiro período.

Foi ainda observado que com tempo de detenção de 40 dias, em 9 meses (janeiro, fevereiro, abril, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro) as concentrações de amônia apresentaram um acréscimo na lagoa anaeróbia A<sub>7</sub> em

relação ao esgoto bruto. Situação idêntica aconteceu para o estudo com o período de 25 dias, nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. A figura 4.1 mostra que as concentrações de esgoto bruto (25 dias) começaram a aumentar entre os meses de maio e julho apresentando um decréscimo em setembro. Em outubro e novembro foi verificado outro aumento na concentração de amônia, diminuindo no mês de dezembro. A maior concentração ocorreu em agosto, acerca de 38 mgN/l. Com tempo de detenção total de 40 dias (figura 4.2), a maior concentração foi observada no mês de dezembro em torno de 21 mgN/l.

Do ponto de vista da qualidade do efluente final foi verificado que o aumento do período de detenção contribuiu para que no segundo período do monitoramento as concentrações de amônia no efluente do reator  $M_9$  fossem sempre menores que no primeiro período (quadro 4.3).



Td = 25 dias	Td = 40- dias
Meses/mgN/l	Meses/mgN/l
Jan - 30	Jan - 28
Fev - 28	Fev - 25
Mar - 24	Fev - 19
Abr - 24	Abr - 18
Mai - 22	Mai - 20
Jun - 25	Jun - 21
Jul - 24	Jul - 20
Ago - 21	Ago - 15
Set - 22	Set - 22
Out - 26	Out - 25
Nov - 31	Nov - 26
Dez - 29	Dez - 19

Quadro 4.3 - Concentração de nitrogênio amoniacal no efluente final (lagoa M<sub>9</sub>) para tempos de detenção de 25 e 40 dias.

#### 4.1.5 - Nitrogênio nítrico

As figuras 4.3 e 4.4 ilustram as concentrações mê

dias de nitrogênio nítrico no esgoto bruto e nos efluentes dos reatores da série de lagoas, respectivamente, para o primeiro e o segundo períodos de monitoramento. Durante o primeiro período pode ser observado que somente nos meses de janeiro, fevereiro e outubro de 1986, houve uma tendência para o aumento nas concentrações de nitrato ao longo da série, apesar de bastante discreta. No restante do período as concentrações tenderam ou à uniformidade ou à diminuição.

No segundo período de monitoramento foi possível registrar uma nitrificação mais significativa ao longo do sistema experimental apenas durante o período entre agosto e outubro de 1987.

#### 4.1.6 - Ortofosfato solúvel

Uma avaliação do comportamento das concentrações médias de ortofosfato solúvel no sistema experimental, com base nos resultados do Experimento tipo 1 (monitoramento) mostrou não ter havido remoção desse nutriente ao longo da série de lagoas profundas.

Os dados de monitoramento do primeiro período experimental caracterizado pelo tempo de detenção hidráulica de 25 dias mostraram que as concentrações dos efluentes das várias unidades do sistema experimental, sempre foram superiores às concentrações do esgoto bruto afluente do

sistema, além de, considerando um mesmo intervalo de tempo (figura 4.5). Um comportamento semelhante ocorreu para o segundo período de monitoramento, caracterizado pelo tempo de detenção hidráulica de 40 dias (figura 4.6).

Em ambos os períodos, não foi possível caracterizar a ocorrência de remoção significativa de ortofosfato solúvel ao longo da série de lagoas, especialmente quando são consideradas as concentrações médias do esgoto bruto afluente e do efluente do sistema (efluente da lagoa M<sub>9</sub>).

#### 4.1.7 - Fósforo total

As figuras 4.7 e 4.8, ilustram as concentrações médias de fósforo total no esgoto bruto afluente, e nos efluentes das várias unidades do sistema experimental, com base nos dados de monitoramento, respectivamente, para 25 e 40 dias de tempo de detenção hidráulica. No primeiro período de monitoramento, caracterizado pelo tempo de detenção hidráulica de 25 dias, foi observado que as concentrações dos efluentes dos reatores são bastante uniformes entre si, num mesmo intervalo de tempo sendo que em nenhum caso a diferença, entre a maior e a menor concentração de fósforo total para um determinado período mensal, foi maior que 1,0 mgP/l.

No que diz respeito à concentração média de fósforo total associada ao esgoto bruto afluente, ela foi menor ou

igual que a média dos efluentes nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e outubro de 1986. Nos meses restantes, o esgoto bruto apresentou concentrações médias maiores, sendo que no mês de agosto de 1986 tal concentração foi 67% maior que a do efluente da lagoa A<sub>7</sub>.

Do ponto de vista da remoção de fósforo total, e considerando as concentrações do esgoto bruto afluente e do efluente final da série de lagoas, foi verificada que somente durante o período de maio a dezembro de 1986, tal remoção existiu.

No segundo período de monitoramento, as concentrações de fósforo total apresentaram-se menos uniformes ao longo da série, principalmente entre março e setembro de 1987.

Considerando-se as concentrações do esgoto bruto e do efluente final da série foi possível destacar alguma remoção considerável de fósforo total somente no período entre abril e junho de 1987.

Comparando-se os dois períodos de monitoramento entre si, destacam-se apenas os aspectos:

- a). No segundo período as concentrações de fósforo total são predominantemente maiores que as do primeiro período;
- b) Em ambos os períodos, remoções expressivas de fósforo total foram observadas somente eventualmente.

#### 4.1.8 - Clorofila a

A lagoa anaeróbica A<sub>7</sub> não foi incluída no monitoramento dos efluentes da série de lagoas profundas, uma vez que supõem-se a não proliferação de algas em condições anaeróbicas.

O quadro 4.2 mostra que durante o primeiro período experimental (Experimento tipo 1) foi observado um valor médio de clorofila a no efluente da lagoa F<sub>9</sub> de 72,2 µg/l, enquanto que no segundo período experimental o valor médio verificado foi de 151,2 µg/l.

O reator M<sub>7</sub>, apresentou durante o primeiro e segundo períodos experimentais, concentrações médias de clorofila a de, respectivamente, 93,0 e 178,5 µg/l.

As concentrações médias de clorofila a, verificadas no reator M<sub>8</sub>, durante os dois períodos experimentais (Experimento tipo 1) foram de 76,3 µg/l, no primeiro período, e 118,4 µg/l no segundo.

A lagoa de maturação M<sub>9</sub>, durante os dois períodos experimentais do Experimento tipo 1, apresentou uma concentração média de clorofila a de 132,3 µg/l e 64,3 µg/l, respectivamente, para o sistema operado com tempo de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias.

## 4.2 - Experimento Tipo 2

### 4.2.1 - Avaliação dos dados meteorológicos

Os dados relativos a radiação solar diária e velocidade média diária do vento, obtidos durante a pesquisa estão apresentados no quadro 4.4 enquanto que o quadro 4.5, mostra a velocidade média do vento em intervalos de 4 em 4 horas, para um período de 24 horas.

As condições climáticas prevalecentes na maioria dos Experimentos do tipo 2 foram de céu parcialmente nublado. Somente o Experimento nº 1 (reator F<sub>9</sub>) ocorreu em dia fortemente ensolarado. A ocorrência de chuva foi registrada às 06 horas do primeiro dia, nos Experimentos 4, 11 e 12, no reator M<sub>9</sub>, e Experimento 17 na lagoa anaeróbia A<sub>7</sub>. A superfície da lagoa, na maioria dos Experimentos, não apresentou camada de espuma. Os ventos se mantiveram moderados em torno de 60% dos Experimentos, e ausentes em aproximadamente 40% do total de Experimentos realizados, frequentemente no horário noturno. A máxima velocidade média diária dos ventos, de 6,696 km/h, foi observada durante a realização do Experimento 14, enquanto que a mínima de 1,579 km/h ocorreu no Experimento 3 (reator M<sub>9</sub>). Foi observado que os maiores valores da velocidade do vento, em intervalos de 4 em 4 horas, ocorreram sempre entre 10 e 14 horas.

O valor máximo de radiação solar acumulada no ciclo

diário (entre 09 horas de um dia e 09 horas do dia seguinte) foi de  $729,6 \text{ g.cal/cm}^2 \cdot \text{d}$ , no Experimento 17, realizado na lagoa A<sub>7</sub>, enquanto o mínimo de  $348,0 \text{ g.cal/cm}^2 \cdot \text{d}$ , foi observado durante a realização do Experimento 3 (lagoa M<sub>7</sub>).

A máxima temperatura do ar de  $36,5^\circ\text{C}$  foi verificada no Experimento 17 (lagoa A<sub>7</sub>) no horário das 14 horas, enquanto a mínima de  $17,5^\circ\text{C}$  foi observada às 06 horas da manhã do dia seguinte, do Experimento 10 (reator F<sub>9</sub>).

Quadro 4.4 - Dados meteorológicos referentes a cada Experimento num período de 24 horas e velocidade média diária do vento - Experimento tipo 2

Experimento	Reator	Data	Radiação Solar (g.cal/cm <sup>2</sup> .d)	Velocidade Média Diária do Vento (km/h)
1	F <sub>9</sub>	27-28/05/87	690,0	2,295
2	F <sub>9</sub>	03-04/06/87	564,0	4,570
3	M <sub>9</sub>	10-11/06/87	348,0	1,579
4	M <sub>9</sub>	17-18/06/87	402,0	2,141
5	M <sub>8</sub>	08-09/07/87	420,0	3,108
6	M <sub>8</sub>	15-16/07/87	528,0	1,654
7	M <sub>7</sub>	22-23/07/87	718,8	1,733
8	M <sub>7</sub>	29-30/07/87	546,0	2,479
9	F <sub>9</sub>	12-13/08/87	654,0	3,654
10	F <sub>9</sub>	19-20/08/87	376,8	3,400
11	M <sub>9</sub>	26-27/08/87	585,6	3,617
12	M <sub>9</sub>	02-03/09/87	657,6	4,000
13	M <sub>8</sub>	16-17/09/87	672,0	4,738
14	M <sub>8</sub>	23-24/09/87	718,8	6,696
15	M <sub>7</sub>	30-09 e 01/10/87	654,0	5,200
16	M <sub>7</sub>	07-08/10/87	672,0	6,700
17	A <sub>7</sub>	28-29/10/87	729,6	5,983
18	A <sub>7</sub>	04-05/11/87	600,0	6,250



Quadro 4.5 - Velocidade média do vento (km/h) em intervalos de 4 em 4 horas num período de 24 horas - Experimento tipo 2

Experimento	Reator	Data	Hora						
			06:00	10:00	14:00	18:00	22:00	02:00	06:00
1	F <sub>9</sub>	27-28/05/87	3,0	4,2	4,6	1,5	0,05	0,3	
2	F <sub>9</sub>	03-04/06/87	5,3	8,9	6,5	5,1	1,1	0,4	
3	M <sub>9</sub>	10-11/06/87	2,7	3,2	3,3	0,2	0,1	0	
4	M <sub>9</sub>	17-18/06/87	3,8	5,3	3,1	0,2	0	0,4	
5	M <sub>8</sub>	08-09/07/87	5,0	6,0	3,3	2,5	1,6	0	
6	M <sub>8</sub>	15-16/07/87	2,4	4,8	4,0	1,6	0	0,1	
7	M <sub>7</sub>	22-23/07/87	2,1	4,4	3,3	0,2	0,1	0	
8	M <sub>7</sub>	29-30/07/87	4,5	6,4	3,9	0	0,02	0	
9	F <sub>9</sub>	12-13/08/87	4,1	9,1	7,0	1,5	0,02	0,05	
10	F <sub>9</sub>	19-20/08/87	5,3	8,7	5,4	0,9	0,02	0	
11	M <sub>9</sub>	26-27/08/87	5,0	5,9	2,6	2,7	2,7	0,3	
12	M <sub>9</sub>	02-03/09/87	4,6	7,7	7,4	1,9	2,1	0,2	
13	M <sub>8</sub>	16-17/09/87	5,8	7,4	8,1	5,2	1,3	0,6	
14	M <sub>8</sub>	23-24/09/87	7,5	9,8	8,7	6,1	3,9	4,0	
15	M <sub>7</sub>	30/09 e 01/10/87	6,7	7,5	6,6	4,7	2,7	2,8	
16	M <sub>7</sub>	07-08/10/87	6,2	8,2	8,5	7,7	4,8	4,7	
17	A <sub>7</sub>	28-29/10/87	6,6	6,2	7,5	7,3	4,9	3,3	
18	A <sub>7</sub>	04-05/11/87	7,0	7,4	7,2	5,4	5,1	5,4	

#### 4.2.2 - Lagoa anaeróbia (A<sub>7</sub>)

Foram realizados dois Experimentos (Exp. 17 e 18) respectivamente em 28-29 de outubro, e 04-05 de novembro de 1987.

O Experimento 17 se deu sob condições de céu parcialmente nublado, intensidade luminosa de 730,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, ausência de ventos, e a superfície da lagoa estava completamente coberta de espuma. o pH máximo de 8,1 foi observado na profundidade de 20 centímetros às 10 e 14 horas, e o mínimo de 7,3 em vários níveis e horários durante o período noturno. A temperatura variou entre um mínimo de 26°C em praticamente todos os níveis e horários, e um máximo de 28°C no nível 5 cm às 14 horas. É importante observar que condições de completa anaerobiose prevaleceram durante o experimento (figura 4.10).

O Experimento 18 também se deu em condições de céu parcialmente nublado, com intensidade luminosa de 600,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, ventos brandos, e a superfície de lagoa completamente coberta de espuma. O pH máximo de 7,9 foi verificado no nível 70 cm às 10 horas e nível 5 cm às 14 horas, e o mínimo de 7,0 em vários níveis e horários durante o período noturno. A temperatura máxima foi de 28°C no nível 5 cm às 14 horas, e a mínima de 26°C em vários níveis e horários. A lagoa também, neste experimento, apresentou condições de completa anaerobiose (figura 4.12).

## 4.2.2.1 - Nitrogênio amoniacal

Em relação às amostras analisadas, as concentrações de amônia para ambos os experimentos, apresentaram-se uniformes em torno de 36,5 mgN/l, de acordo com as figuras 4.9 e 4.11.

As concentrações das amostras da coluna líquida coletadas por inteiro, nos dois experimentos, apresentaram-se uniformes em torno de 37,0 mgN/l, mostrando dessa maneira a sua representatividade na caracterização das concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo da profundidade, já que existe proximidade bastante acentuada de seus valores com aqueles das médias das concentrações ao longo da profundidade (quadro 4.6). X

Experimento \ Hora	Hora						
	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 17</u>							
$\bar{X}$	36,1	35,4	36,0	37,0	37,8	36,8	36,5
C	36,7	37,8	37,6	36,5	37,1	38,3	36,6
<u>Exp. 18</u>							
$\bar{X}$	35,9	37,8	37,4	36,8	35,8	35,6	37,0
C	3,59	37,3	36,8	36,7	35,6	36,3	36,7

Quadro 4.6 - Médias ponderadas das concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna líquida (C, em mgN/l).

## 4.2.2.2 - Nitrogênio nítrico

Às 6 horas do 19 dia, como mostra a figura 4.9 o Experimento 17 apresentou uniformidade em torno de 0,50 mgN/l ao longo da profundidade, enquanto que no Experimento 18 (Fig. 4.11), tal uniformidade foi verificada em torno da concentração de 0,24 mgN/l.

No Experimento 17, a uniformidade das concentrações de nitrato por volta de 0,49 mgN/l, estendeu-se até às 10 horas, enquanto que neste horário no Experimento 18, foi registrada uma mínima concentração de 0,09 mgN/l, no nível 5 cm, e a partir do nível 20 cm, foi verificada uniformidade em torno de 0,16 mgN/l.

Às 14 horas, concentrações próximas de 0,64 mgN/l, ocorreram ao longo da coluna de água no Experimento 17, e no Experimento 18, as concentrações variaram de 0,10 mgN/l no nível 5 cm a 0,27 mgN/l no nível 195 cm.

Os Experimentos 17 e 18 mostraram existir uniformidade de concentrações na coluna líquida acerca de 0,42 mgN/l e 0,47 mgN/l e de 0,25 mgN/l e 0,15 mgN/l respectivamente às 18 e 22 horas.

No Experimento 17, as leituras não foram satisfatórias às 02 h e 06 h do dia seguinte, enquanto que para os dois horários, o Experimento 18, apresentou concentrações bastante próximas de zero (0,05 e 0,01 mgN/l) ao longo de toda a coluna líquida.

A comparação dos valores médios em torno dos quais se distribuem as concentrações de nitrogênio nítrico ao longo da profundidade com aqueles das amostras de coluna de água (quadro 4.7), mostra a existência de uma grande similaridade entre ambos os conjuntos de valores.

Experimento	Hora						
	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 17</u>							
$\bar{X}$	0,50	0,49	0,64	0,42	0,47	*	*
C	0,43	0,52	0,61	0,46	0,42		
<u>Exp. 18</u>							
$\bar{X}$	0,24	0,16	0,22	0,25	0,16	0,05	0,01
C	0,30	0,22	0,15	0,32	0,14	0,04	0,02

Quadro 4.7 - Médias ponderadas das concentrações de nitrogênio nítrico ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgN/l).

\* Leituras não satisfatórias.

#### 4.2.2.3 - Ortofosfato solúvel

Nos dois Experimentos as concentrações de ortofosfato solúvel, no ciclo diário, apresentaram uniformidade ao longo da profundidade, em torno de 4,7 mgP/l (figuras 4.9 e 4.11).

As amostras de coluna d'água apresentaram concentrações em torno de 4,5 mgP/l nos dois Experimentos, havendo portanto uma grande proximidade de valores. Uma melhor comparação pode ser feita através do quadro 4.8. ✕

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 17</u>							
$\bar{X}$	4,1	4,5	4,4	4,6	5,0	4,9	5,2
C	4,7	4,7	4,3	4,4	4,9	5,4	5,4
<u>Exp. 18</u>							
$\bar{X}$	4,4	4,3	4,6	4,7	4,8	5,2	5,3
C	4,5	4,5	4,5	5,0	4,7	4,5	5,4

Quadro 4.8 - Médias ponderadas das concentrações de ortofosfato solúvel ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentração de coluna d'água (C, em mgP/l).

#### 4.2.2.4 - Fósforo total

As figuras 4.9 (Exp. 17) e 4.11 (Exp. 18), mostram o comportamento das concentrações de fósforo total durante o ciclo diário.

Às 6 horas da manhã do 19 dia, os Experimentos 17 e 18, apresentaram uniformidade em torno de 5,0 mgP/l, respectivamente. A exceção ocorreu no Experimento 18, que apresentou uma concentração de 9,0 mgP/l no nível 5 cm.

No Experimento 17, às 10 horas, as concentrações de fósforo total foram uniformes por volta de 5,4 mgP/l, em

quanto que no Experimento 18, foi observada uniformidade de 6,0 mgP/l até o nível 20 cm, e variação na faixa de 2,1 mgP/l entre os níveis 40 cm (8,8 mgP/l) e 100 cm (6,7 mgP/l) e de 1,0 mgP/l entre os níveis 100 e 195 cm (7,7 mgP/l).

No horário das 14 horas, no Experimento 17 a uniformidade foi observada acerca de 5,4 mgP/l, exceto no nível 15 cm que apresentou uma concentração de 6,7 mgP/l. Neste mesmo horário, no Experimento 18, o nível 5 cm apresentou 8,0 mgP/l nos níveis 15 e 40 cm sendo verificada uma concentração de 7,2 mg P/l, nos níveis 100 e 195 cm.

No Experimento 17, na coleta de amostras das 18 horas, uma uniformidade próxima de 5,7 mgP/l foi registrada. No Experimento 18, as variações ocorreram ao longo de toda a profundidade, tendo os valores se situado entre 6,4 e 7,8 mgP/l.

Às 22 horas, nos Experimentos 17 e 18, a análise dos resultados mostrou uma uniformidade nas concentrações acerca de 5,6 mgP/l e 6,9 mgP/l, respectivamente.

Uniformidade em torno de 5,4 mgP/l foi observada no Experimento 17, na coleta das 02 horas, enquanto que no Experimento 18, os valores das concentrações foram próximas de 6,5 mgP/l, exceto no nível 40 cm que apresentou 8,9 mgP/l.

Às 6 horas da manhã seguinte, os valores do Experimento 17, apresentaram proximidade de valores em torno de

5,4 mgP/l. O Experimento 18, foi uniforme acerca de 6,7 mgP/l com exceção do nível 40 cm que apresentou uma concentração de 5,2 mgP/l.

Uma análise das concentrações de fósforo total nas amostras de coluna, mostra ter havido uma correspondência entre seus valores, e aqueles das concentrações médias estabelecidas para os vários horários, nos dois experimentos, conforme mostra o quadro 4.9.

Experimento	Hora						
	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 17</u>							
$\bar{X}$	5,0	5,4	5,4	5,7	5,6	5,4	5,4
C	5,2	5,3	5,3	5,5	5,4	6,0	5,1
<u>Exp. 18</u>							
$\bar{X}$	6,8	7,3	7,0	7,2	6,9	6,5	6,7
C	6,4	7,5	7,6	7,6	6,4	6,4	6,7

Quadro 4.9 - Médias ponderadas das concentrações de fósforo total ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna líquida (C, em mgP/l).

#### 4.2.2.5 - Clorofila a

As concentrações de clorofila a nos dois experimentos do reator A<sub>7</sub> não apresentaram variações característi



cas de grande florescimento de algas. No Experimento 17 foi observada uma máxima variação entre 4,5  $\mu\text{g}/\text{l}$  no nível 100 cm às 14 horas e 80,3  $\mu\text{g}/\text{l}$  no nível 15 cm, no mesmo horário. A máxima variação observada no Experimento 18 foi de 5,7  $\mu\text{g}/\text{l}$  no nível 195 cm às 22 horas e 115,3  $\mu\text{g}/\text{l}$  no nível 5 cm às 14 horas.

As variações máximas ocorridas nos diferentes horários estão sumarizadas no quadro 4.10.

Hora	Experimento 17		Experimento 18	
	Mínima ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) Máxima	Nível (cm)
06	16,6	40	17,2	30
	23,6	150-195	29,3	5
10	12,7	100	10,8	100
	57,3	20	89,2	5
14	4,5	100	8,3	40-100
	80,3	15	115,3	4
18	7,6	195	9,6	100-195
	30,6	30	48,4	5
22	9,6	150-195	5,7	195
	24,8	5	14,7	100
02	15,3	150-195	14,0	40
	25,5	30	21,0	100
06 (2)	14,7	30-70	11,5	40
	17,8	5-195	21,0	100

Quadro 4.10 - Concentrações máximas e mínimas de clorofila a ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

#### 4.2.3 - Lagoa facultativa secundária (F<sub>g</sub>)

Foram realizados 4 (quatro) Experimentos de Nºs 1, 2, 9 e 10 nos dias 27-28 de maio, 03-04 de junho, 12-13 de agosto, e 19-20 de agosto de 1987, respectivamente.

Os Experimentos 1 e 9, ocorreram sob condições de dia ensolarado (Exp. 1) e céu parcialmente coberto (Exp. 9) com intensidade luminosa de 690,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d e 654,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, ausência de ventos, enquanto que os Experimentos 2 e 10, se deram sob condições de céu parcialmente nublado, e intensidade luminosa de 654,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d e 376,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, ventos brandos,

Os máximos e mínimos valores de pH observados, para os quatro experimentos foram de respectivamente:

Experimento 1 - 8,4 no<sup>o</sup> nível 5 cm às 14 horas e, 7,5 nos níveis 150 às 6h e 195 cm às 14 horas (Figura 4.14).

Experimento 2 - 7,8 em vários níveis e horários e, 7,1 no nível 150 às 6 horas (Figura 4.16).

Experimento 9 - 8,2 no nível 10 cm às 14 horas e, 7,4 em vários níveis às 14 e 18 horas (Figura 4.18).

Experimento 10 - 8,2 no nível 5 cm às 6 horas e, 7,3 em vários níveis e horários (Figura 4.20).

Em relação às temperaturas máximas e mínimas, o comportamento do reator nos quatro experimentos foi o seguinte:

Experimento 1 -  $29^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e,  $25^{\circ}\text{C}$  em vários níveis e horários (figura 4.14).

Experimento 2 -  $30^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e,  $25^{\circ}\text{C}$  em vários níveis e horários (figura 4.16):

Experimento 9 -  $28^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e,  $24^{\circ}\text{C}$  em vários níveis e horários (figura 4.18).

Experimento 10 -  $26,5^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e,  $23,5^{\circ}\text{C}$  nos níveis 150 e 195 cm às 6 horas do dia seguinte (figura 4.20).

Como mostram as figuras 4.14, 4.16, 4.18 e 4.20, a lagoa apresentou-se em condições de anaerobiose em quase todos os níveis e horários, sendo a máxima concentração de oxigênio dissolvido observada, de  $6,1 \text{ mgO}_2/\text{l}$  nos níveis 5, 10 e 20 cm às 14 horas no Experimento 9, diminuindo para  $1,5 \text{ mgO}_2/\text{l}$  nos Experimentos 1 e 10, no nível 5 cm às 14 horas, e apresentando uma concentração de  $0,3 \text{ mgO}_2/\text{l}$  em vários níveis e horários do Experimento 2, permanecendo em  $0,0 \text{ mgO}_2/\text{l}$  em vários níveis e horários durante todos os Experimentos.

## 4.2.3.1 - Nitrogênio amoniacal

Às 6 horas do 19 dia a concentração de amônia apresentou uniformidade em torno de 28,2 mgN/l, 29,2 mgN/l, e 40,0 mgN/l, respectivamente, para os Experimentos 1, 9 e 10. No Experimento 2, neste horário, foi verificada uma variação ao longo da profundidade com uma diferença de 8,0 mgN/l entre os níveis 5 (27,0 mgN/l) e 195 cm (19,0 mgN/l), como mostram as figuras 4.13, 4.15, 4.17 e 4.19.

Às 10 horas da manhã, as concentrações de nitrogênio amoniacal apresentaram-se uniformes acerca de 29,7 mgN/l, 16,1 mgN/l, 30,5 mgN/l e 31,6N/l, respectivamente, para os Experimentos 1, 2, 9 e 10. As exceções ocorreram principalmente no nível 5 cm nos Experimentos 1 (25,0 mgN/l) e 10 (36,5 mgN/l).

No Experimento 1, às 14 horas, ocorreu uma variação ao longo da profundidade da ordem de 8,0 mgN/l entre os níveis 5 cm (20,0 mgN/l) e 195 cm (28,0 mgN/l). Neste mesmo horário, uniformidade na faixa de 19,3 mgN/l foi verificada no Experimento 2. Os Experimentos 9 e 10, apresentaram uniformidade em torno de 32,3 e 32,6 mgN/l, exceto para o nível 5 cm dos dois experimentos que apresentou, respectivamente, 26,0 mgN/l e 26,6 mgN/l.

Às 18 horas, os Experimentos 1, 2 e 10, foram uniformes nas concentrações de amônia, em torno de 29,2 mgN/l, 18,6 mgN/l e 32,0 mgN/l, respectivamente. No Experimento 9, com exceção do nível 5 cm, que apresentou uma concentração

de 26,5 mgN/l, a uniformidade ocorreu na faixa de 30,5 mgN/l.

Nos Experimentos 1, 2 e 9, foram verificadas uniformidades acerca de 41,7 mgN/l, 24,5 mgN/l e 29,9 mgN/l, no horário das 22 horas. Para esse mesmo horário, o Experimento 10, foi uniforme ao longo da profundidade com concentrações da ordem de 29,3 mgN/l, exceto no nível 30 cm, onde a concentração foi de 25,6 mgN/l.

Às 02 horas houve uniformidade nos quatro Experimentos em torno de 41,2 mgN/l, 25,2 mgN/l, 30,8 mgN/l e 31,6 mgN/l, respectivamente, para os Experimentos 1, 2, 9 e 10.

No horário das 6 horas do dia seguinte, os Experimentos 1, 2 e 10 apresentaram uniformidade nas concentrações de nitrogênio amoniacal próximas de 38,8 mgN/l, 20,9 mgN/l e 30,9 mgN/l. No Experimento 9, os níveis 5,30 cm e 195 cm, apresentaram concentrações próximas de 31,0 mgN/l, enquanto que nos níveis 70 cm e 150 cm, as concentrações situaram-se perto de 37,5 mgN/l.

O quadro 4.11 relaciona as médias ponderadas das concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$  em mgN/l) ao longo da profundidade, com as concentrações das amostras da coluna de água (C em mgN/l).

Um estudo comparativo entre  $\bar{X}$  e C, evidencia a representatividade das concentrações da coluna de água com aquelas do ciclo diário.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 1</u>							
$\bar{X}$	28,2	29,7	25,4	29,2	41,7	41,7	38,8
C	28,0	31,0	28,0	29,0	42,0	42,0	40,0
<u>Exp. 2</u>							
$\bar{X}$	21,6	16,1	19,2	18,6	24,5	25,2	20,9
C	29,0	19,0	21,0	20,0	24,5	25,0	20,5
<u>Exp. 9</u>							
$\bar{X}$	29,2	30,5	32,3	30,5	29,5	30,7	35,5
C	29,1	30,1	32,3	29,9	30,3	30,8	30,8
<u>Exp. 10</u>							
$\bar{X}$	39,9	40,4	32,6	32,0	29,3	31,6	30,9
C	31,6	31,6	32,1	34,4	29,6	29,9	30,6

Quadro 4.11 - Concentrações médias de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$  em mgN/l) com as concentrações da coluna d'água (C em mgN/l).

#### 4.2.3.2 - Nitrogênio nítrico

As figuras 4.13, 4.15, 4.17 e 4.19 mostram o comportamento das concentrações de nitrato durante o ciclo diário.

No horário das 6 horas do 19 dia, as concentrações de nitrato, apresentaram-se uniformes em torno de 1,20

mgN/l, 0,34 mgN/l e 1,27 mgN/l para os Experimentos 1, 2 e 9 respectivamente. No Experimento 10, ocorreram variações ao longo de toda a profundidade sendo que um mínimo de 0,33 mgN/l no nível 150 cm, e um máximo de 0,60 mgN/l no nível 5 cm foram observados.

Às 10 horas, apenas os Experimentos 1 e 2 apresentaram uniformidade acerca de 1,17 mgN/l, e 0,36 mgN/l, respectivamente, tendo o primeiro, apresentado uma concentração de 0,92 mgN/l no nível 30 cm. No Experimento 9, foi verificada uma uniformidade de 0,87 mgN/l, com exceção dos níveis 15 e 195 cm que apresentaram diferenças de aproximadamente 0,15 mgN/l, em relação aos diversos níveis. Já o Experimento 10, registrou variações nas concentrações de nitrato entre 0,57 mgN/l no nível 5 cm a 0,17 mgN/l no nível 195 cm.

Uniformidade na coluna líquida, foi verificada nos Experimentos 2, 9 e 10, acerca de 0,39 mgN/l, 1,0 mgN/l e 0,27 mgN/l, respectivamente, para a coleta das 14 horas. Neste mesmo horário, foram observados valores próximos de 1,3 mgN/l no Experimento 1, com exceção dos níveis 10 e 100 cm que apresentaram 0,94 mgN/l e 1,08 mgN/l.

Às 18 horas, os Experimentos 1 e 9 foram uniformes nos valores das concentrações, em volta de 1,0 mgN/l, enquanto que, o Experimento 2 apresentou uniformidade de 0,40 mgN/l. No Experimento 10 ocorreu proximidade de valores em torno de 0,30 mgN/l, com exceção do nível 195 cm que apresentou 0,46 mgN/l.

Nos Experimentos 1, 2 e 9 às 22 horas, ocorreram uniformidades nas concentrações de nitrogênio nítrico, acerca de 1,2 mgN/l, 0,40 mgN/l e 1,0 mgN/l respectivamente. O Experimento 10, apresentou um crescimento entre 0,23 mgN/l e 0,40 mgN/l ao longo da profundidade.

Na coleta das 02 horas, os valores das concentrações foram próximas de 1,2 mgN/l e 0,50 mgN/l para os experimentos 1 e 2. Uniformidade de 1,1 mgN/l com exceção de 1,36 mgN/l no nível 195 cm, foi verificada no Experimento 9. No Experimento 10, concentrações de 0,30 mgN/l e 0,65 mgN/l ocorreram nos níveis 5 cm e 30 cm, enquanto que concentrações próximas de 0,40 mgN/l foram medidas nos níveis mais profundos.

Às 6 horas do dia seguinte, os Experimentos 1, 2 e 9, apresentaram-se uniformes em torno de 1,25 mgN/l, 0,60 mgN/l, 1,1 mgN/l respectivamente. No Experimento 10, uma uniformidade em torno de 0,45 mgN/l foi observada, exceto no nível 5 cm que apresentou uma concentração de 0,34 mgN/l.

As amostras da coluna de água apresentaram concentrações próximas daquelas das amostras coletadas a diferentes níveis, demonstrando assim sua representatividade na caracterização do conteúdo de nitrato na massa líquida da lagoa facultativa secundária F<sub>9</sub>, conforme demonstram os elementos do quadro 4.12.



Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 1</u>							
$\bar{X}$	1,20	1,17	1,23	1,16	1,20	1,26	1,25
C	1,00	1,17	1,12	1,08	1,17	1,12	1,27
<u>Exp. 2</u>							
$\bar{X}$	0,34	0,36	0,38	0,42	0,42	0,58	0,62
C	0,34	0,32	0,40	0,40	0,36	0,58	0,60
<u>Exp. 9</u>							
$\bar{X}$	1,27	0,87	1,00	0,97	0,97	1,05	1,19
C	1,07	1,05	0,89	0,91	0,91	1,51	1,05
<u>Exp. 10</u>							
$\bar{X}$	0,39	0,20	0,26	0,30	0,30	0,44	0,44
C	0,37	0,48	0,30	0,34	0,30	0,31	0,37

Quadro 4.12 - Médias ponderadas das concentrações de nitrogênio nítrico ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna líquida (C, em mgN/l).

#### 4.2.3.3 - Ortofosfato solúvel

Em todos os horários e em todos os Experimentos (Fig. 4.13, 4.15, 4.17 e 4.19) ocorreu uniformidade de concentrações de ortofosfato solúvel, em torno dos valores médios expostos no quadro 4.13, o qual também mostra a representatividade das amostras de coluna.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 1</u>							
$\bar{X}$	3,2	3,3	3,3	3,4	3,3	3,2	3,4
C	3,1	3,4	3,2	3,3	3,0	3,0	3,3
<u>Exp. 2</u>							
$\bar{X}$	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,1	4,0
C	4,0	3,9	4,0	3,8	3,9	4,0	4,0
<u>Exp. 9</u>							
$\bar{X}$	4,2	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,4
C	4,2	4,4	4,5	4,4	4,5	4,5	4,4
<u>Exp. 10</u>							
$\bar{X}$	3,9	3,8	3,9	3,9	4,0	3,9	3,9
C	3,8	3,8	3,6	3,9	4,1	3,8	3,9

Quadro 4.13 - Concentrações médias de ortofosfato solúvel ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna de água (C, em mgP/l).

#### 4.2.3.4 - Fósforo total

As figuras 4.13, 4.15, 4.17 e 4.19 mostram as variações de fósforo total ao longo da profundidade durante o ciclo diário.

As concentrações de fósforo total foram uniformes em torno de 4,7 mgP/l, 4,0 mgP/l e 4,4 mgP/l, respectiva

mente, para os Experimentos 1, 2 e 10, no horário das 6 horas da manhã. O Experimento 9, apresentou concentrações variáveis entre 5,8 mgP/l no nível 30 cm e 9,3 mgP/l no nível 70 cm.

Às 10 horas, os Experimentos 1, 2 e 10, apresentaram uniformidade nas concentrações acerca de 5,0 mgP/l, 3,9 mgP/l e 4,3 mgP/l, respectivamente. No Experimento 9, foi observada uniformidade em torno de 7,0 mgP/l, exceto no nível 30 cm, que apresentou 8,1 mgP/l.

Entre 14 e 06 horas da manhã do dia seguinte, os Experimentos apresentaram uniformidade em todos os horários, durante o ciclo diário. Os valores médios das concentrações ao longo da profundidade, como também da coluna de água são mostrados no quadro 4.14, podendo ser observada a proximidade de valores entre as concentrações médias, e as de coluna.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 1</u>							
$\bar{X}$	4,7	5,0	5,1	4,9	5,0	5,1	5,3
C	4,8	5,0	5,3	5,0	5,0	4,6	5,0
<u>Exp. 2</u>							
$\bar{X}$	4,0	3,9	4,1	4,0	4,0	4,1	4,1
C	3,9	4,0	4,2	3,9	4,3	4,1	4,1
<u>Exp. 9</u>							
$\bar{X}$	7,2	7,0	6,4	6,6	6,3	6,8	6,3
C	6,7	6,5	6,0	6,4	6,7	7,2	6,9
<u>Exp. 10</u>							
$\bar{X}$	4,4	4,3	4,2	4,2	4,1	4,2	4,3
C	4,0	4,3	4,0	4,2	4,5	4,3	4,4

Quadro 4.14 - Médias ponderadas das concentrações de fósforo total ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).

#### 4.2.3.5 - Clorofila a

As altas concentrações de clorofila a verificadas às 10, 14 e 18 horas, nos Experimentos 1, 2, 9 e 10, respectivamente, de 2730,2  $\mu\text{g/l}$ , 245,9  $\mu\text{g/l}$ , 378,0  $\mu\text{g/l}$  e 477,1  $\mu\text{g/l}$ , indicam a ocorrência de florescimentos de algas nas camadas mais superficiais (5 a 40 cm), entre 14 e

18 horas com mais frequência. Nas camadas mais profundas (100 e 195 cm) foram observadas as mínimas concentrações de clorofila a, variando de 0,0 a 17,8  $\mu\text{g/l}$ .

O quadro 4.15, mostra as concentrações máximas e mínimas de clorofila a ao longo do tempo, na coluna líquida da lagoa facultativa secundária ( $F_9$ ).

Hora	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 9		Exp. 10	
	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)
06	22,9	70	34,4	30	60,5	150	72,0	195
	61,2	100	52,2	195	65,6	5	82,2	5
10	36,9	195	38,2	5	40,1	195	44,6	100
	2730,2	30	245,9	30	172,0	15	477,1	5
14	17,8	100	6,4	100	7,6	5	30,6	100
	163,1	30	101,9	40	378,0	20	108,3	5
18	53,5	195	10,2	5	0,0	30	16,6	195
	186,0	40	96,8	70	152,2	70	138,2	40
22	53,5	150	26,8	5	48,4	195	54,1	195
	79,0	20	48,4	195	86,0	30	60,5	5
02	49,7	5	28,0	195	58,0	150	45,9	70
	62,4	30	44,6	5	65,0	30	54,8	5-30
06	36,9	20	42,0	195	86,6	30	52,2	30
	54,8	100	40,8	5-40	111,5	195	69,4	70

Quadro 4.15 - Concentrações máximas e mínimas de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ ).

#### 4.2.4 - Lagoa de maturação (M<sub>7</sub>)

Para este reator, foram levados a efeito os Experimentos 7 (22-23 de julho), 8 (29-30 de julho), 15 (30 de setembro e 01 de outubro) e 16 em 07-08 de outubro de 1987.

O Experimento 7 foi realizado em condições de céu coberto de nuvens e com intensidade luminosa de 718,8 cal/cm<sup>2</sup>.d. A lagoa não apresentou espuma na superfície e, em amostras coletadas às 10 e 02 horas foi verificada visualmente, a presença de zooplâncton, como indicador da ocorrência do processo de depuração.

O pH máximo de 8,0 ocorreu no nível 30 cm às 14 horas, enquanto o mínimo de 7,6 foi observado em vários níveis e horários. O maior valor de temperatura foi de 29°C no nível 5 cm às 14 horas, e o mínimo de 24°C, ocorreu em vários níveis e horários (figura 4.22).

No Experimento em estudo, as condições aeróbias prevaleceram, sendo a máxima concentração de oxigênio dissolvido de 10,9 mgO<sub>2</sub>/l, verificada no nível 40 cm às 14 horas, e a concentração mínima de 0,1 mgO<sub>2</sub>/l em vários níveis e horários (figura 4.22).

Os Experimentos 8 e 15, ocorreram em condições de céu parcialmente nublado, com ventos brandos, intensidade luminosa de 546,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (Exp. 8) e 672,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d (Exp. 15). A superfície da lagoa não apresentou camada de espuma.

As figuras 4.24 (Exp. 8) e 4.26 (Exp. 15) mostram o

comportamento dos valores de pH:

Experimento 8 - Máximo de 8,0 no nível 10 cm às 10 horas e, mínimo de 7,6 em vários níveis às 6 horas do dia seguinte.

Experimento 15 - Máximo de 8,3 no nível 10 cm às 18 horas e mínimo de 7,2 no nível 70 e 150 cm às 14 horas.

As temperaturas apresentaram os seguintes valores:

Experimento 8 - Máxima de  $29,5^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e mínima de  $25^{\circ}\text{C}$  em vários níveis e horários (figura 4.24).

Experimento 15 - Máxima de  $28^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm às 14 horas e mínima de  $24^{\circ}\text{C}$  em vários níveis e horários (figura 4.26).

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram no Experimento 8 de  $3,8 \text{ mgO}_2/\text{l}$  no nível 10 cm, às 14 horas, a  $0,1 \text{ mgO}_2/\text{l}$  em vários níveis e horários. No Experimento 15, a maior concentração foi de  $11,3 \text{ mgO}_2/\text{l}$  no nível 30 cm às 14 horas, e uma mínima de  $0,0 \text{ mgO}_2/\text{l}$  em vários níveis e horários (figuras 4.24 e 4.26).

O Experimento 16, se deu em dia de céu coberto com nuvens, intensidade luminosa de  $672 \text{ g.cal/cm}^2.\text{d}$ , ventos brandos, lagoa coberta de algas.

O pH variou de um máximo de 8,8 a um mínimo de 7,5 respectivamente, nos níveis 5 cm e 150 cm às 14 horas. O maior valor de temperatura ocorreu no nível 5 cm às 14 horas, 26,5°C, enquanto que, o mínimo valor observado, foi de 24°C em vários níveis às 02 e 06 horas do segundo dia (Figura 4.28).

Uma concentração de 8,8 mgO<sub>2</sub>/l foi verificada às 14 horas no nível 5 cm, e às 06 horas em todos os níveis, o valor de oxigênio dissolvido foi de 0,0 mgO<sub>2</sub>/l. O reator no entanto, apresentou condições de aerobiose na quase totalidade do ciclo diário (Figura 4.28).

#### 4.2.4.1 - Nitrogênio amoniacal

As figuras 4.21, 4.23, 4.25 e 4.27, mostram as variações das concentrações de amônia.

Às 6 horas da manhã do 19 dia, no Experimento 7, uniformidade em torno de 26,7 mgN/l foi observada do nível 30 a 195 cm, tendo o nível 5 cm apresentado 36,2 mgN/l. Nos três outros Experimentos (8, 15 e 16), houve uniformidade de concentrações em torno de 27,0, 32,7 e 31,4 mgN/l, respectivamente.

Foi verificada uma uniformidade acerca de 25,6 mgN/l (Exp. 7), 25,8 mgN/l (Exp. 8) e 32,7 mgN/l (Exp. 15). No Experimento 16 ocorreu variação ao longo de toda a profundidade de 41,6 mgN/l no nível 40 cm a 26,8 mgN/l no nível 5 cm; todas essas ocorrências foram verificadas às 10 horas.



No horário de coleta das 14 horas, os Experimentos 7 e 8, foram uniformes com concentrações próximas de 26,0 mgN/l, e os Experimentos 15 e 16 com uniformidade em torno de 32,6 mgN/l e 30,9 mgN/l, respectivamente, exceto no nível 5 cm que apresentou 29,0 mgN/l e 22,0 mgN/l para ambos os experimentos.

Os Experimentos 7 e 8 apresentaram às 18 horas, uniformidade em torno de 26,0 mgN/l. O Experimento 15 foi uniforme do nível 70 até o 195 cm com concentrações próximas de 33,0 mgN/l, e nos níveis 5 e 30 cm acerca de 30,0 mgN/l. Neste mesmo horário no Experimento 16 ocorreu uma variação crescente em torno de 25,0 mgN/l do nível 5 cm para 40 cm, apresentando uniformidade de 28,6 mgN/l daí em diante.

Às 22 horas, os Experimentos apresentaram uniformidade de 26,0 mgN/l (Exp. 7 e 8), 32,2 mgN/l (Exp. 15) e 31,0 mgN/l (Exp. 16).

Valores próximos de 26,1 mgN/l, 25,6 mgN/l e 30,5 mgN/l, respectivamente, para os Experimentos 7, 8 e 16, indicaram uniformidade no horário das 02 horas, com exceção do nível 5 cm do Experimento 15 que apresentou uma concentração menor (29,4 mgN/l) em relação a 32,4 mgN/l, verificada nos diversos níveis ao longo da profundidade.

As concentrações de nitrogênio amoniacal às 06 horas do dia seguinte, apresentaram-se uniformes acerca de 26,0, 25,9, 32,3 e 30,4 mgN/l, respectivamente para os Experimentos 7, 8, 15 e 16.

O quadro 4.16 relaciona as médias ponderadas das concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo da profundidade, com as da coluna de água, mostrando a proximidade de valores existente entre ambos.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 7</u>							
$\bar{X}$	26,7	25,6	25,8	25,9	26,0	26,1	26,1
C	34,8	26,4	25,6	25,6	26,6	29,2	25,8
<u>Exp. 8</u>							
$\bar{X}$	27,0	25,8	25,9	25,7	25,9	25,6	26,7
C	27,5	26,1	26,2	26,4	25,8	25,8	26,7
<u>Exp. 15</u>							
$\bar{X}$	32,7	32,7	32,6	31,8	32,2	32,4	32,3
C	32,5	33,4	32,3	32,6	32,9	32,5	31,8
<u>Exp. 16</u>							
$\bar{X}$	31,4	33,0	30,9	28,6	31,1	30,5	30,4
C	31,1	30,0	30,2	29,0	31,0	30,6	30,6

Quadro 4.16 - Concentrações médias de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna líquida (C, em mgN/l).

#### 4.2.4.2 - Nitrogênio nítrico

As concentrações de nitrato na lagoa de maturação M<sub>7</sub>, apresentaram pouca variação ao longo da profundidade, durante o ciclo diário, como mostram as figuras 4.21, 4.23, 4.25 e 4.27.

No Experimento 7, a uniformidade ocorreu em torno de 0,42 mgN/l com exceção do nível 5 cm, que foi de 0,11 mgN/l, às 22 horas.

O Experimento 8, foi uniforme acerca de 0,50 mgN/l. Os Experimentos 15 e 16, apresentaram valores próximos de 0,35 mgN/l. As exceções ocorreram no Experimento 15 às 06 horas com concentrações em torno de 0,23 mgN/l, e às 10 horas com variação ao longo da coluna líquida de 0,56 mgN/l no nível 5 cm, e 0,29 mgN/l no nível 100 cm. No Experimento 16, foi verificada uma uniformidade de 0,37 mgN/l com exceção de 0,28 mgN/l no nível 15 cm às 10 horas. Ainda neste Experimento, uma concentração em torno de 0,25 mgN/l foi verificada às 02 horas, em todos os níveis.

O quadro 4.17 mostra os valores das concentrações de nitrato, com base nas médias ponderadas, das concentrações ao longo da profundidade e, aquelas da coluna líquida. Uma similaridade de valores também foi verificada para este reator.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 7</u>							
$\bar{X}$	0,46	0,46	0,54	0,47	0,42	0,43	0,45
C	0,45	0,46	0,45	0,48	0,43	0,53	0,45
<u>Exp. 8</u>							
$\bar{X}$	0,48	0,48	0,45	0,49	0,51	0,53	0,55
C	0,50	0,50	0,50	0,53	0,56	0,66	0,59
<u>Exp. 15</u>							
$\bar{X}$	0,22	0,34	0,30	0,37	0,41	0,40	0,53
C	0,26	0,28	0,40	0,36	0,40	0,40	0,56
<u>Exp. 16</u>							
$\bar{X}$	0,28	0,36	0,36	0,33	0,39	0,23	0,33
C	0,30	0,33	0,26	0,37	0,39	0,28	0,33

Quadro 4.17 - Concentrações médias de nitrato ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgN/l)

#### 4.2.4.3 - Ortofosfato solúvel

Os Experimentos apresentaram uniformidade em torno de 3,9 mgP/l (Exp. 7), 3,9 mgP/l (Exp. 8), 4,9 mgP/l (Exp. 15) e 4,3 mgP/l no Experimento 16, de acordo com as figuras 4,21, 4,23, 4,25 e 4,27.

A comparação dos valores das concentrações da coluna de água com aquelas do ciclo diário as quais são basea

das nas médias ponderadas das concentrações dos vários níveis ao longo da profundidade mostra a representatividade de C em relação a  $\bar{X}$  (Quadro 4.18)

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 7</u>							
$\bar{X}$	3,7	3,8	3,8	3,7	3,9	3,7	3,8
C	3,8	3,8	3,8	3,6	3,8	3,8	3,7
<u>Exp. 8</u>							
$\bar{X}$	3,9	4,0	4,0	4,0	3,6	3,7	3,8
C	3,9	3,9	3,9	3,9	3,6	3,6	3,8
<u>Exp. 15</u>							
$\bar{X}$	4,8	4,9	4,7	4,8	4,9	4,8	4,3
C	4,8	4,9	4,9	4,8	4,8	4,9	4,4
<u>Exp. 16</u>							
$\bar{X}$	4,1	4,2	4,3	4,3	4,2	4,2	4,3
C	4,3	4,0	4,3	4,3	4,4	4,3	4,4

Quadro 4.18 - Médias ponderadas das concentrações de ortofosfato solúvel ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).

#### 4.2.4.4 - Fósforo total

O Experimento 7, apresentou durante todo o ciclo

diário, concentrações em torno de 6,5 mgP/l. As exceções ocorreram às 6 horas no nível 30 cm (5,1 mgP/l). Às 10 horas no nível 100 cm (7,7 mgP/l) e às 14 horas no nível 5 cm (5,2 mgP/l), como mostra a Figura 4.21.

Uniformidade em torno de 5,0 mgP/l ocorreu no Experimento 8, em todos os horários, enquanto que os Experimentos 15 e 16 foram uniformes acerca de 5,5 mgP/l e 4,7 mgP/l, respectivamente, o que pode ser observado através das figuras 4.23, 4.25 e 4.27.

Os resultados médios das concentrações de fósforo total expressas em mgP/l, são mostrados no quadro 4.19, tendo sido verificada uma similaridade desses valores com concentrações de coluna.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 7</u>							
$\bar{X}$	6,5	6,8	6,1	6,6	5,5	5,7	6,1
C	5,7	6,5	6,9	6,3	5,9	5,8	5,7
<u>Exp. 8</u>							
$\bar{X}$	4,5	4,8	4,3	4,8	4,5	4,9	4,8
C	4,9	4,3	4,9	4,4	4,7	4,7	4,6
<u>Exp. 15</u>							
$\bar{X}$	5,4	5,6	5,6	5,5	5,6	5,5	5,6
C	5,4	5,4	5,4	5,3	5,7	5,5	5,7
<u>Exp. 16</u>							
$\bar{X}$	4,7	4,5	4,6	4,5	4,8	4,5	4,5
C	4,8	4,7	4,6	4,5	4,6	4,7	4,5

Quadro 4.19.- Concentrações médias de fósforo total ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).

4.2.4.5 - Clorofila a

Em todos os Experimentos as maiores concentrações de clorofila a, foram de 258,6  $\mu\text{g/l}$  (Exp. 7), 43,3  $\mu\text{g/l}$  (Exp. 8), 530,0  $\mu\text{g/l}$  (Exp. 15) e 490,5  $\mu\text{g/l}$  no Experimento 16, geralmente detectadas durante o dia, às 10 e 14 horas, evidenciando a presença de algas nos níveis 15, 40 e 70 cm. Nos horários compreendidos entre 14 e 22 horas, mais frequentemente às 18 horas, foram determinadas baixas concentrações de clorofila a (0,0 a 8,9  $\mu\text{g/l}$ ) nos níveis 5 e 30 cm.

O quadro 4.20 mostra as variações da concentração de clorofila a, ( $\mu\text{g/l}$ ) ao longo do ciclo diário.

Hora	Exp. 7		Exp. 8		Exp. 15		Exp. 16	
	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)
06	11,5 31,2	30 195	1,3 15,3	30 195	59,9 74,5	30 195	65,0 105,1	5 195
10	3,2 258,6	195 40	4,5 34,4	5 30	17,8 395,6	5 20	21,7 490,5	5 15
14	0,6 79,6	5 70	1,3 43,3	30 70	6,4 530,0	5 40	8,9 301,3	5 15
18	0,0 39,5	5-30 150	0,0 10,8	30-70 195	10,2 93,6	5 195	11,5 94,3	20 100
22	1,3 19,7	5 195	0,0 10,2	30 195	5,1 96,8	30 195	31,5 59,2	100 195
02	0,6 17,2	5 195	1,3 14,7	30 195	22,9 74,5	5 195	45,9 56,7	5 195
06	9,6 31,9	5 195	5,1 8,9	70 30-195	38,9 66,2	5 150	57,3 70,1	40 195

Quadro 4.20 - Concentrações máximas e mínimas de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ ).

#### 4.2.5 - Lagoa de Maturação (M<sub>8</sub>)

Também neste reator, foram levados a efeito quatro Experimentos: 5, 6, 13 e 14, realizados, respectivamente, 08-09 de julho, 15-16 de julho, 16-17 de setembro e 23-24 de setembro de 1987.

Todos os Experimentos ocorreram em dias parcialmente nublados, com tendências a chuva no Exp. 14 e chuvas no Experimento 5, intensidades luminosas de 420,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, 528,0 gcal/cm<sup>2</sup>.d, 672,0 g.cal/cm<sup>2</sup>.d e 718,8 g.cal/cm<sup>2</sup>.d, respectivamente, para os Experimentos 5, 6, 13 e 14. A superfície da lagoa não apresentou formação de camada de espuma. Os ventos se mantiveram fracos, durante os quatro Experimentos. No Experimento 13, foi constatada presença apreciável de zooplâncton na coluna líquida, no período noturno.

A máxima temperatura do ar de 31°C foi observada no Experimento 14 às 14 horas, e a mínima de 20,5°C ocorreu às 6 horas do primeiro dia e 06 horas do dia seguinte, no Experimento 6.

O pH máximo e mínimo verificado no Experimento 5 foi de 8,6 no nível 10 cm às 18 horas e 7,0 em todos os níveis às 02 horas (fig. 4.30); O Experimento 6, apresentou um valor máximo de 8,6 no nível 5 cm às 14 horas, enquanto o mínimo foi de 7,6 nos níveis 150 e 195 cm às 10 e 22 horas (figura 4.32). O pH máximo de 8,4 no Experimento 13 ocorreu ao longo de toda a profundidade, às 14 horas e o mínimo foi verificado em vários níveis e horários (fig. 4.34).



No Experimento 14, os valores variaram de 8,8 no nível 5 cm às 14 horas e 7,6 no nível 15 cm às 06 horas da manhã seguinte (figura 4.36).

As temperaturas máximas observadas foram de 27,5°C, 27,5°C, 29°C e 30°C, ocorridas no nível 5 cm às 14 horas e as mínimas de 24°C, 24°C, 25°C e 25°C em vários níveis e horários, respectivamente, para os Experimentos 5, 6, 13 e 14. Com exceção do Experimento 13, as mínimas temperaturas foram sempre observadas no horário diurno, às 06 horas da manhã do primeiro dia, e 06 horas do dia seguinte.

O reator sempre se apresentou aeróbio, com concentrações de oxigênio dissolvido de 12,4 mgO<sub>2</sub>/l no nível 20 cm às 14 horas, e 0,4 mgO<sub>2</sub>/l no nível 195 cm às 22 e 02 horas (Exp. 5), 13,2 mgO<sub>2</sub>/l no nível 10 cm às 22 e 02 horas (Exp. 6), 12,5 mgO<sub>2</sub>/l no nível 30 cm às 14 horas e 0,1 mgO<sub>2</sub>/l em vários níveis às 06 horas, 02 e 06 horas do dia seguinte (Exp. 13) e 15,0 mgO<sub>2</sub>/l no nível 10 cm às 14 horas e 0,1 mgO<sub>2</sub>/l no nível 195 cm às 22 horas (Exp. 14).

#### 4.2.5.1 - Nitrogênio amoniacal

As figuras 4.31, 4.33 e 4.35 mostram o comportamento das concentrações de nitrogênio amoniacal.

O Experimento 5 não será considerado para fins da apresentação e análise dos resultados de nitrogênio amoniacal, tendo em vista a ocorrência de defeito no instrumento de medição de amônia.

Foi observada uniformidade nas concentrações de amô

nia, no reator  $M_8$ , às 6 horas do 19 dia, as quais giraram em torno de 24,2, 26,4 e 26,3 mgN/l, respectivamente, nos Experimentos 6, 13 e 14.

Nos três Experimentos, às 10 horas, ocorreu uma uniformidade de 24,0 mgN/l (Exp. 6), 26,9 mgN/l (Exp. 13) e 27,3 mgN/l no Experimento 14.

Às 14 horas, no Experimento 6, foi observada uma proximidade de valores do nível 40 cm até 195 cm acerca de 25,0 mgN/l, enquanto que, nos níveis 5 e 20 cm, concentrações menores, da ordem de 22,0 e 23,0 mgN/l ocorreram. Concentrações ligeiramente crescentes de 24,1 a 26,7 mgN/l foram observadas do nível 5 cm para o 195 cm no Experimento 13. Também foi verificado um ligeiro aumento nos valores de amônia ao longo de toda a profundidade variando de 26,3 mgN/l a 29,7 mgN/l, no Experimento 14.

No horário de coleta das 18 horas, os Experimentos 6 e 13, foram uniformes em torno de 24,4 mgN/l e 26,4 mgN/l, respectivamente; no entanto, o Experimento 14 apresentou concentrações crescentes de 23,0 a 27,0 mgN/l ao longo da coluna líquida.

Foi verificada uniformidade de 23,9 mgN/l (Exp. 6), 26,7 mgN/l (Exp. 13) e 24,0 mgN/l no Experimento 14, às 22 horas.

Às 02 horas e 06 horas do dia seguinte, os Experimentos apresentaram-se uniformes, respectivamente, em torno de 24,0 mgN/l (Exp. 6), 26,0 mgN/l (Exp. 13) e 25,0

mgN/l para o Experimento 14.

O quadro 4.21, apresenta os valores das concentrações médias de nitrogênio amoniacal ao longo da profundidade, e as da coluna de água, havendo similaridade entre ambos os conjuntos em cada Experimento.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 6</u>							
$\bar{X}$	24,2	24,0	24,4	24,2	23,0	24,4	24,1
C	24,5	24,0	24,6	24,8	24,3	24,3	23,7
<u>Exp. 13</u>							
$\bar{X}$	26,4	26,9	26,1	26,4	26,7	26,9	25,8
C	25,9	27,2	26,1	26,8	26,9	26,9	25,9
<u>Exp. 14</u>							
$\bar{X}$	26,3	2,73	28,4	26,0	24,9	24,7	25,4
C	26,4	28,1	28,5	26,1	25,2	25,0	25,3

Quadro 4.21 - Concentrações médias de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).

#### 4.2.5.2 - Nitrogênio nítrico

As figuras 4.29, 4.31, 4.33 e 4.35, ilustram as variações das concentrações de nitrato, durante um período

de 24 horas no reator  $M_8$ .

O Experimento 5 apresentou uniformidade ao longo de toda profundidade, durante o ciclo diário na faixa de 0,46 mgN/l.

Na maioria dos horários, o Experimento 6 foi uniforme em torno de 0,65 mgN/l, com exceção do horário das 06 horas do dia seguinte, que apresentou uma concentração máxima de 0,43 mgN/l. Neste mesmo Experimento, os níveis 150 e 195 cm, às 10 horas, apresentaram concentração de 0,70 mgN/l, enquanto que, às 22 horas, no nível 30 e 70 cm foram registradas concentrações de 0,55 mgN/l e 0,71 mgN/l, respectivamente.

Das 06 horas do primeiro dia, às 18 horas, o Experimento 13 apresentou comportamento uniforme acerca de 0,35 mgN/l, enquanto que a partir das 22 horas foi observada concentração em torno de 0,25 mgN/l. Além disso, deve ser registrada que concentrações próximas de 0,55 mgN/l ocorreram às 14 horas no nível 100 cm, às 18 horas.

No Experimento 14, na maioria dos horários, os valores das concentrações de nitrato, aproximaram-se de 0,32 mgN/l. As exceções ocorreram às 6 horas (concentrações em torno de 0,20 mgN/l) até o nível 70 cm, e a partir do nível 150 cm os valores observados foram de 0,32 mgN/l. Uma concentração de 0,40 mgN/l foi verificada entre os níveis 5 e 150 cm às 14 horas, e entre 5 e 30 cm no horário das 22 horas. Uma diminuição de concentração foi observada dos níveis 100 e 195 cm (concentrações de 0,26 mgN/l e 0,27

mgN/l, respectivamente, para os horários das 18 e 22 horas). Às 18 horas, foi registrada uma variação de 0,22 mgN/l, entre os níveis 70 cm (0,28 mgN/l) e 195 cm (0,50 mgN/l).

A comparação entre as concentrações médias de nitrogênio nítrico no ciclo diário, e as de coluna de água, pode ser feita através do quadro 4.22, tendo sido verificada uma grande proximidade de valores.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 5</u>							
$\bar{X}$	0,40	0,39	0,41	0,46	0,47	0,46	0,45
C	0,54	0,40	0,44	0,50	0,47	0,49	0,54
<u>Exp. 6</u>							
$\bar{X}$	0,63	0,62	0,63	0,62	0,64	0,57	0,43
C	0,55	0,50	0,52	0,60	0,66	0,59	0,38
<u>Exp. 13</u>							
$\bar{X}$	0,29	0,33	0,34	0,24	0,22	0,25	0,26
C	0,31	0,33	0,44	0,25	0,27	0,24	0,27
<u>Exp. 14</u>							
$\bar{X}$	0,24	0,33	0,28	0,32	0,31	0,29	0,42
C	0,24	0,32	0,36	0,34	0,32	0,36	0,39

Quadro 4.22.- Médias ponderadas das concentrações médias de nitrogênio nítrico ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgN/l).

#### 4.2.5.3 - Ortofosfato solúvel

O comportamento das concentrações de ortofosfato so nível ao longo do ciclo diário pode ser observado através das Figuras 4.29, 4.31, 4.33 e 4.35.

Às 06 horas do primeiro dia, uniformidade na faixa de 3,7 mgP/l, 3,8 mgP/l e 4,8 mgP/l foi observada nos Experimentos 6, 13 e 14, respectivamente. O Experimento 5 não foi uniforme, variando de 2,9 mgP/l (nível 5 cm) a 4,1 mgP/l (nível 195 cm).

Nos demais horários os Experimentos apresentaram concentrações próximas de 3,9 mgP/l (Exp. 5), 3,8 mgP/l (Exp. 6), 3,7 mgP/l (Exp. 13) e 4,8 mgP/l no Experimento 14.

O quadro 4.23 sumariza os valores das médias de concentrações nos diversos níveis, e as concentrações das amostras de coluna.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 5</u>							
$\bar{X}$	3,7	3,5	4,0	3,8	3,9	3,9	3,9
C	3,9	3,6	4,0	3,8	3,9	3,9	4,0
<u>Exp. 6</u>							
$\bar{X}$	3,7	3,6	3,5	3,7	3,9	3,8	3,8
C	3,7	3,6	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8
<u>Exp. 13</u>							
$\bar{X}$	3,7	3,8	3,8	3,7	3,8	3,8	3,4
C	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,9	3,6
<u>Exp. 14</u>							
$\bar{X}$	4,9	4,7	4,5	4,7	4,8	4,9	3,9
C	4,8	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	3,8

Quadro 4.23 - Concentrações médias de ortofosfato solúvel ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna líquida (C, em mgP/l).

#### 4.2.5.4 - Fósforo total

Os Experimentos 5 e 13 foram uniformes em torno de 5,5 mgP/l e 4,5 mgP/l. A exceção foi verificada no Experimento 5 às 18 horas, ocorrendo variação ao longo de toda a coluna líquida. Neste mesmo horário o Experimento 6, apresentou variação em torno de 1,0 mgP/l do nível 5 cm até 70 cm. (Figuras 4.29, 4.31 e 4.33).

O Experimento 14, apresentou uniformidade acerca de 5,3 mgP/l, apresentando algumas exceções em diversos níveis e horários, entre 6 horas e 22 horas: (Figura 4.35).

O quadro 4.24 relaciona as concentrações médias de fósforo total no ciclo diário, e as de coluna d'água.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 5</u>							
$\bar{X}$	5,1	5,2	5,7	5,8	5,5	5,5	5,5
C	5,4	5,2	6,8	6,0	5,2	6,0	5,5
<u>Exp. 6</u>							
$\bar{X}$	4,7	4,8	5,2	4,7	5,0	5,3	5,5
C	4,4	4,4	4,4	4,4	4,6	4,6	4,3
<u>Exp. 13</u>							
$\bar{X}$	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,4	4,2
C	4,5	4,4	5,2	5,6	5,2	5,4	5,8
<u>Exp. 14</u>							
$\bar{X}$	5,3	4,9	5,4	5,3	5,1	5,4	5,0
C	5,3	5,4	5,2	5,8	5,3	5,7	4,4

Quadro 4.24 - Médias ponderadas das concentrações de fósforo total ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).



#### 4.2.5.5 - Clorofila a

Nos quatro experimentos realizados neste reator, foi observado que as maiores concentrações de clorofila a, ocorreram nos horários das 10 e 14 horas, nas camadas superiores (entre 20 e 40 cm). A concentração mínima verificada no Experimento 5 foi de  $1,5 \mu\text{g}/\text{l}$  às 22 horas no nível 70 cm, enquanto que no Experimento 6 a mínima observada foi de  $3,2 \mu\text{g}/\text{l}$  às 18 horas nos níveis 5 e 30 cm, e às 22 horas, no nível 5 cm. O Experimento 13 apresentou um valor mínimo da concentração de clorofila a de  $2,5 \mu\text{g}/\text{l}$  às 14 horas, no nível 5 cm, e no Experimento 14, foi observada uma concentração mínima de  $20,4 \mu\text{g}/\text{l}$  às 22 horas no nível 5 cm.

Pode-se concluir de acordo com os dados relativos a cada horário, apresentados no quadro 4.25, que as concentrações máximas de clorofila a ocorreram sempre no horário diurno, enquanto que as mínimas, apresentaram comportamento inverso, ou seja, foram verificadas no horário noturno.

Hora	Exp. 5		Exp. 6		Exp. 13		Exp. 14	
	Mínima $\mu\text{g/l}$ Máxima	Nível (cm)	Mínima $\mu\text{g/l}$ Máxima	Nível (cm)	Mínima $\mu\text{g/l}$ Máxima	Nível (cm)	Mínima $\mu\text{g/l}$ Máxima	Nível (cm)
06	23,6	70	10,2	5-30	65,0	70	83,4	70
	69,4	195	16,6	195	89,8	195	164,3	195
10	32,5	195	16,6	195	20,4	195	31,2	5
	314,0	30	90,5	30	181,5	20	446,5	20
14	17,8	5	8,9	195	2,5	5	15,9	5
	147,8	40	103,8	20	275,2	40	654,2	40
18	7,6	5	3,2	5-30	4,5	5	25,5	5
	38,9	195	38,9	70	63,1	100	220,4	195
22	1,5	70	3,2	5	3,8	30	20,4	5
	26,1	195	19,1	195	36,3	100	86,6	195
02	4,5	150	16,6	195	21,7	5	24,2	5
	7,6	70	22,3	30	50,3	150	58,0	195
06	15,9	195	14,7	70	28,7	5	58,6	70
	33,8	70	18,5	30	65,0	70	68,8	150

Quadro 4.25 - Concentrações máximas e mínimas de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ ).

#### 4.2.6 - Lagoa de maturação ( $M_9$ )

Os Experimentos 3 (10-11 de junho), 4 (17-18 de junho), 11 (26-27 de agosto) e 12 (02-03 de setembro de 1987), foram realizados neste reator.

No Experimento 11, as leituras dos parâmetros, normalmente analisados, não foram feitos no horário das 10 ho

ras, por falta de energia elétrica.

Os Experimentos 3, 11 e 12, foram levados a efeito, em dias com céu coberto de nuvens, enquanto que o Experimento 4, ocorreu em dia parcialmente nublado. Foi registrada a ocorrência de chuva em 3 dos Experimentos (4, 11 e 12). Os ventos mantiveram-se moderados, e a intensidade luminosa foi de  $348,0 \text{ g.cal/cm}^2.\text{d}$  (Exp. 3),  $402,0 \text{ g.cal/cm}^2.\text{d}$  (Exp. 4),  $585,6 \text{ g.cal/cm}^2.\text{d}$  (Exp. 11) e  $657,6 \text{ g.cal/cm}^2.\text{d}$  (Exp. 12). Foi observada a ocorrência de zooplâncton.

A superfície da lagoa não apresentou camada de espuma, em todos os Experimentos.

A máxima temperatura do ar de  $28,5^{\circ}\text{C}$  foi verificada no Experimento 12 às 14 horas, e a mínima de  $20^{\circ}\text{C}$ , ocorreu no Experimento 4, às 02 horas.

Os valores máximos de pH foram de 9,1, 8,9, 8,5 e 8,4 nos níveis 5, 10 e 15 cm às 14 horas, e os mínimos de 7,8 em vários níveis às 06 horas do dia seguinte, 7,1 no nível 10 cm às 02 horas, 7,9 no nível 100 cm às 06 horas do dia seguinte, 7,8 no nível 195 cm às 22 horas, respectivamente, para os Experimentos 12, 11, 4 e 3 (figuras 4.38, 4.40, 4.42 e 4.44).

O Experimento 3, apresentou uma máxima e mínima temperaturas de  $26^{\circ}\text{C}$  e  $25^{\circ}\text{C}$ , em vários níveis e horários, enquanto que os Experimentos 4, 11 e 12 apresentaram, respectivamente, máximas de  $27^{\circ}\text{C}$ ,  $28,5^{\circ}\text{C}$  e  $28,5^{\circ}\text{C}$  no nível 5 cm, às 14 horas, e mínimas de  $25^{\circ}\text{C}$ , em vários níveis e em todos os horários;  $24^{\circ}\text{C}$  em vários níveis às 06 horas do 1º

dia, 25°C em vários níveis às 06 horas do dia seguinte, e 25°C em vários níveis entre 02 e 06 horas do dia seguinte.

As concentrações máximas e mínimas de oxigênio dissolvido foram de 10,4 mgO<sub>2</sub>/l no nível 5 cm às 14 horas e 0,0 mgO<sub>2</sub>/l no nível 195 cm e 150 cm, às 18 e 22 horas (Exp. 3), 12,2 mg O<sub>2</sub>/l no nível 5 cm às 14 horas e 0,0 mgO<sub>2</sub>/l no nível 195 cm às 22 horas (Exp. 4); 17,8 mgO<sub>2</sub>/l no nível 10 cm às 14 horas, e 2,1 mgO<sub>2</sub>/l no nível 195 cm às 02 horas (Exp. 11), e um valor maior que 20 mgO<sub>2</sub>/l do nível 5 a 15 cm às 14 horas e 0,9 mgO<sub>2</sub>/l às 22 horas no nível 195 cm, no Experimento 14 (figuras 4.38, 4.40, 4.42 e 4.44).

#### 4.2.6.1 - Nitrogênio amoniacal

As variações das concentrações de amônia no ciclo diário do reator são mostradas nas figuras 4.37, 4.39, 4.41 e 4.43.

As 06 horas da manhã, houve uniformidade em todos os Experimentos na faixa de 21,2 mgN/l (Exp. 3), 12,3 mgN/l (Exp. 11), 13,4 mgN/l (Exp. 12) e 15,0 mgN/l no Experimento 4, o qual apresentou ainda uma concentração de 18,0 mgN/l no nível 5 cm.

No horário das 10 horas, nos Experimentos 3 e 12 foi observada uma uniformidade em torno de 16,2 mgN/l, enquanto que no Experimento 4 foi verificada uma proximidade de valores acerca de 15,0 mgN/l exceto no nível 30 cm, que a

presentou uma concentração de 10,5 mgN/l.

Os Experimentos 3, 4 e 11 foram uniformes às 14 horas, com concentrações na faixa de 15,1 mgN/l, 9,8 mgN/l e 12,5 mgN/l, respectivamente. A exceção ocorreu no nível 5 cm, que apresentou 11,03 mgN/l em relação à uniformidade que foi de 13,53 mgN/l.

No horário de coleta das 18 horas, o Experimento 3, foi uniforme, apresentando concentrações próximas de 15,1 mgN/l, com exceção do nível 195 cm (13,0 mgN/l). No Experimento 4, a uniformidade verificada foi de 12,2 mgN/l, exceto no nível 5 cm que apresentou uma concentração de 9,8 mgN/l. Os Experimentos 11 e 12 foram uniformes em torno de 12,0 e 13,2 mgN/l, respectivamente.

Uniformidade nos quatro Experimentos foi verificada acerca de 13,0 mgN/l, 14,4 mgN/l, 11,5 mgN/l e 14,2 mgN/l, respectivamente, para os Experimentos 3, 4, 11 e 12, às 22 horas.

Às 02 horas os Experimentos apresentaram concentrações próximas de 13,8 mgN/l (Exp. 3), 12,7 mgN/l (Exp. 11) e 13,6 mgN/l (Exp. 12). No Experimento 4 houve uma variação na coluna líquida entre os níveis 30 e 195 cm (12 mgN/l e 6,4 mgN/l).

Às 06 horas do dia seguinte foram consideradas as leituras dos Experimentos 3, 11 e 12. As leituras do Experimento 4 foram insatisfatórias e não foram consideradas para a análise. O de nº 3 foi uniforme na faixa de 13,7 mgN/l. Os Experimentos 11 e 12 apresentaram proximidade de valores na faixa de 12,1 mgN/l e 12,0 mgN/l.

O quadro 4.26, mostra que de um modo geral as concentrações da coluna de água apresentaram proximidade de valores daqueles das médias das concentrações das amostras coletadas a diferentes níveis, demonstrando sua representatividade na caracterização do conteúdo de nitrogênio amoniacal da massa líquida da lagoa no ciclo diário.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 3</u>							
$\bar{X}$	21,2	16,2	15,1	15,1	13,0	13,8	13,7
C	18,5	16,0	15,5	13,5	14,0	14,0	14,0
<u>Exp. 4</u>							
$\bar{X}$	15,0	15,0	9,8	12,2	14,4	8,8	-*
C	20,0	14,0	11,0	10,5	13,5	10,0	-*
<u>Exp. 11</u>							
$\bar{X}$	12,3	-**	12,5	12,0	11,5	12,7	12,1
C	12,3	-**	12,4	14,0	10,8	12,2	15,2
<u>Exp. 12</u>							
$\bar{X}$	13,4	13,5	13,7	13,2	14,7	13,6	14,0
C	12,7	13,3	13,6	13,6	14,5	13,1	13,9

Quadro 4.26 - Concentrações médias de nitrogênio amoniacal ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgN/l).

\* - Leituras insatisfatórias.

\*\* - Falta de energia.

## 4.2.6.2 - Nitrogênio nítrico

As figuras 3.37, 3.39, 3.41 e 3.43, mostram as variações das concentrações de nitrato.

Uniformidade foi verificada no Experimento 3 (0,50 mgN/l), Experimento 4 (0,37 mgN/l) e Experimento 12, (1,00 mgN/l), no horário das 06 horas do primeiro dia, enquanto que o Experimento 11 foi uniforme em torno de 1,52 mgN/l, com exceção dos níveis 5 cm e 70 cm, que apresentaram, respectivamente, 1,72 mgN/l e 1,21 mgN/l.

Às 10 horas, os valores foram uniformes em torno de 0,58 mgN/l, 0,34 mgN/l e 0,98 mgN/l, respectivamente, para os Experimentos 3, 4 e 12. No Experimento 11, não foi possível fazer leitura, por falta de energia, neste horário.

Os Experimentos 3 e 4 apresentaram às 14 horas proximidade de valores acerca de 0,50 e 0,38 mgN/l, respectivamente. No Experimento 11, houve variação ao longo de toda a profundidade apresentando uma concentração máxima de 1,85 mgN/l no nível 5 cm e uma mínima de 1,49 mgN/l no nível 195 cm. O Experimento 12 foi uniforme em torno de 1,00 mgN/l, sendo registrada uma exceção no nível 195 cm (0,79 mgN/l).

Às 18 horas, houve uniformidade nos Experimentos 4 e 12 em torno de 0,42 mgN/l e 1,00 mgN/l. O Experimento 3 foi uniforme acerca de 0,45 mgN/l, exceto no nível 30 cm que apresentou uma concentração de 0,27 mgN/l. No Experi

mento 11, foi verificada uma aproximação de valores na faixa de 1,67 mgN/l, com exceção do nível 195 cm que apresentou 1,33 mgN/l.

No horário de coleta das 22 horas, os Experimentos 3 e 4, foram uniformes com concentrações próximas de 0,60 mgN/l e 0,38 mgN/l. Os valores foram uniformes em torno de 0,94 mgN/l, exceto no nível 195 cm, cuja concentração foi de 1,33 mgN/l.

Uniformidade no Experimento 3 acerca de 0,68 mgN/l e no Experimento 4 em torno de 0,37 mgN/l foi observada no horário das 02 horas. O Experimento 11 foi uniforme na faixa de 1,35 mgN/l. Variação ao longo de toda a profundidade, foi verificada no Experimento 12, com concentração máxima de 1,49 mgN/l e mínima de 1,12 mgN/l.

Às 06 horas da manhã do dia seguinte no Experimento 3, houve uma uniformidade em torno de 0,70 mgN/l, exceto no nível 30 cm (0,50 mgN/l) e 70 cm (0,85 mgN/l). O Experimento 4 foi uniforme acerca de 0,34 mgN/l, enquanto que o Experimento 11, apresentou concentrações próximas de 1,41 mgN/l com exceção dos níveis 5 e 30 cm que apresentaram, respectivamente, 1,13 mgN/l e 1,06 mgN/l. No Experimento 12, uma uniformidade na faixa de 1,63 mgN/l foi observada até o nível 70 cm. O nível 195 cm registrou uma concentração de 1,42 mgN/l.

A proximidade de valores das concentrações da coluna de água, com as médias das concentração ao longo da pro



fundidade, as quais são baseadas nas médias ponderadas das concentrações dos vários níveis ao longo da profundidade, mostra a representatividade de C. (quadro 4.27).

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 3</u>							
$\bar{X}$	0,50	0,58	0,50	0,45	0,60	0,68	0,70
C	0,57	0,55	0,62	0,62	0,60	0,57	0,69
<u>Exp. 4</u>							
$\bar{X}$	0,37	0,34	0,38	0,42	0,38	0,37	0,34
C	0,38	0,36	0,40	0,44	0,39	0,39	0,36
<u>Exp. 11</u>							
$\bar{X}$	1,40	*	1,57	1,67	1,70	1,35	1,41
C	1,80	*	1,72	1,85	1,74	1,25	1,63
<u>Exp. 12</u>							
$\bar{X}$	1,00	0,98	1,00	1,00	0,94	1,29	1,63
C	1,14	1,02	0,97	1,14	1,22	1,18	1,45

Quadro 4.27 - Médias ponderadas das concentrações de nitrogênio nítrico ( $\bar{X}$ , em mgN/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgN/l).

\* - Falta de energia.

## 4.2.6.3 - Ortofosfato solúvel

As figuras 3.37, 3.39, 3.41 e 3.43, mostram as variações ocorridas nas concentrações de ortofosfato solúvel.

No Experimento 3, no qual foram sempre coletadas a mostras nos mesmos níveis em diferentes horários, foi observado que houve para cada horário, uniformidade de concentrações de ortofosfato solúvel, sendo que as concentrações do ciclo diário foram de 3,2, 3,2, 3,1, 3,2, 3,2, 3,3 e 3,4 mgP/l, respectivamente, para todos os horários de coleta entre 06 horas da manhã do primeiro dia, e 06 horas da manhã do dia seguinte.

No Experimento 4, as concentrações foram uniformes em torno de 3,3 mgP/l, e no Experimento 11 os valores foram próximos de 3,0 mgP/l. O Experimento 12 apresentou uniformidade na faixa de 3,1 mgP/l, exceto no horário das 18 horas, quando foi verificada uma diferença em torno de 1,0 mgP/l de nível para nível, variando de 2,8 mgP/l no nível 5 cm e 3,3 mgP/l no nível 195 cm.

A comparação das concentrações para amostras de coluna com as médias dos diferentes níveis (quadro 4.28) mostram a existência de uma proximidade bastante acentuada de valores. Desse modo pode-se concluir que houve representatividade das amostras de coluna para a caracterização da massa líquida da lagoa M<sub>9</sub>, em termos de ortofosfato solúvel.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 3</u>							
$\bar{X}$	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4
C	3,2	3,2	3,0	3,2	3,2	3,3	3,4
<u>Exp. 4</u>							
$\bar{X}$	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4
C	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4
<u>Exp. 11</u>							
$\bar{X}$	2,9	*	3,2	2,9	2,9	2,9	2,7
C	3,1	*	3,2	3,2	2,8	2,8	2,6
<u>Exp. 12</u>							
$\bar{X}$	3,1	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,3
C	3,2	3,1	3,0	3,2	3,4	3,4	3,4

Quadro 4.28 - Médias ponderadas das concentrações de orto fosfato solúvel ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna de água (C, em mgP/l).

\* - Falta de energia.

#### 4.2.6.4 - Fósforo total

As figuras 3.37, 3.39, 3.41 e 3.43, mostram as variações de fósforo total verificadas na coluna líquida desse reator.

Os Experimentos 3 e 12 foram uniformes em torno de

3,2 e 3,1 mgP/l ao longo de todo o ciclo diário. O Experimento 4, apresentou uniformidade em torno de 4,6 mgP/l, com exceção dos horários das 10 e 18 horas, que apresentaram concentrações de 5,8 mgP/l no nível 5 cm e 4,2 mgP/l no nível 70 cm.

O Experimento 11, foi o que apresentou maior variação ao longo da coluna líquida, em quase todos os horários.

Às 06 horas da manhã, o fósforo total apresentou uma concentração máxima de 9,8 mgP/l no nível 30 cm, e mínima de 6,0 mgP/l no nível 70 cm.

No horário das 14 horas, a máxima diferença foi verificada entre os níveis 30 e 70 cm (10,0 mgP/l) e o nível 5 cm (8,0 mgP/l).

Uma uniformidade em torno de 8,3 mgP/l foi observada às 18 horas, tendo sido verificadas no entanto, concentrações de 9,6 mgP/l e 9,0 mgP/l, respectivamente, nos níveis 70 e 195 cm.

Às 22 horas, foi registrada uma uniformidade acerca de 7,1 mgP/l ao longo de toda a profundidade.

Uma máxima concentração de 7,7 mgP/l foi observada às 02 horas no nível 150 cm enquanto a mínima de 4,2 mgP/l foi verificada no nível 70 cm.

Na coleta das 06 horas da manhã do dia seguinte foi registrada uma uniformidade de 8,5 mgP/l, durante o ciclo diário.

Os valores médios das concentrações de fósforo total correspondentes a cada horário estão mostrados no quadro 4.29, como também, as concentrações da coluna de água. Uma proximidade de valores também foi verificada na lagoa M<sub>9</sub>, entre as concentrações acima citadas, tendo sido observado que a amostra de C é representativa de  $\bar{X}$ , para as variações temporais ao longo do ciclo diário.

Experimento \ Hora	06 h	10 h	14 h	18 h	22 h	02 h	06 h
<u>Exp. 3</u>							
$\bar{X}$	4,0	4,0	4,1	4,0	3,9	4,0	4,1
C	3,8	4,3	4,7	4,2	4,0	3,8	4,0
<u>Exp. 4</u>							
$\bar{X}$	4,5	5,1	4,7	4,5	4,9	4,7	4,8
C	4,5	4,9	4,8	4,6	4,8	4,8	4,9
<u>Exp. 11</u>							
$\bar{X}$	7,7	*	9,3	8,3	7,1	6,1	8,5
C	7,3	*	8,2	8,2	7,2	7,0	7,3
<u>Exp. 12</u>							
$\bar{X}$	3,1	3,0	3,0	3,2	3,4	3,4	3,4
C	3,2	3,0	3,0	3,2	3,4	3,4	3,4

Quadro 4.29 - Médias ponderadas das concentrações de fósforo total ( $\bar{X}$ , em mgP/l) e concentrações da coluna d'água (C, em mgP/l).

\* - Falta de energia.

4.2.6.5 - Clorofila a

No reator  $M_9$ , última lagoa da série, as concentrações de clorofila a, não apresentaram grandes variações (quadro 4.30). O valor máximo observado foi de 90,5  $\mu\text{g/l}$  no nível 195 cm, às 22 horas no Experimento 3, enquanto que o mínimo ocorreu às 22 e 02 horas, em profundidades de 195 e 150 cm, registrando 0,0  $\mu\text{g/l}$ , respectivamente, para os Experimentos 4 e 3.

Hora	Exp. 3		Exp. 4		Exp. 11		Exp. 12	
	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)	Mínima ( $\mu\text{g/l}$ ) Máxima	Nível (cm)
06	38,2	70	30,6	5	13,4	30	17,2	5-150 e 195
	51,0	30	40,1	195	17,8	195	21,7	30
10	38,2	150	26,8	195	*	*	8,3	150
	51,0	195	38,9	5			29,9	30
14	28,0	70	28,0	70	9,6	195	12,7	150
	63,7	30	48,4	5	24,6	30	29,3	20
18	20,4	70	11,5	150	14,7	150-195	8,3	150
	45,9	30	34,4	5	22,0	70	17,8	70-195
22	43,3	70	0,0	195	2,9	150	11,5	70
	90,5	195	19,7	5	18,5	195	18,5	195
02	0,0	150	0,6	150	2,5	70	4,5	5
	79,0	195	18,5	30	8,3	195	12,7	150
06	34,4	195	6,4	5-30	2,5	5	7,0	30
	47,1	30	12,1	150	10,2	195	12,7	70

Quadro 4.30 - Concentrações máximas e mínimas de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ ).

\* Falta de energia.

#### 4.2.7 - Identificação e contagem de algas

O quadro 4.31 mostra a presença e ausência de vários gêneros de algas ao longo da série de lagoas durante a realização do Experimento tipo 2.

O número de gêneros presentes no sistema variou de 4 (lagoa A<sub>7</sub>) até 13 (lagoa M<sub>9</sub>), sendo que na lagoa facultativa secundária (F<sub>9</sub>), foi verificada a presença de 5 gêneros de algas. Os resultados contrastam com aqueles observados por BACK (1986), o qual observou um número máximo de gêneros de 4 e 8 para as lagoas F<sub>9</sub> e M<sub>9</sub>, respectivamente.

O quadro 4.31, também mostra que as algas Euglena sp, Pyrobotrys sp, Chlorella sp, e Chlamydomonas sp, estiveram presentes nos cinco reatores da série, inclusive na lagoa anaeróbia A<sub>7</sub>.

Quadro 4.31 - Presença (+) e ausência (-) dos gêneros de algas num sistema de lagoas profundas em série durante a realização do Experimento tipo 2

Gêneros de Algas	Reator A <sub>7</sub>	Reator F <sub>9</sub>	Reator M <sub>7</sub>	Reator M <sub>8</sub>	Reator M <sub>9</sub>
<u>Euglena</u>	+	+	+	+	+
<u>Pyrobotrys</u>	+	+	+	+	+
<u>Chlamydomonas</u>	+	+	+	+	+
<u>Chlorella</u>	+	+	+	+	+
<u>Navicula</u>	-	+	+	+	+
<u>Pandorina</u>	-	-	+	+	+
<u>Nitzschia</u>	-	-	+	+	+
<u>Ankistrodesmus</u>	-	-	+	+	+
<u>Eudorina</u>	-	-	-	+	+
<u>Coelastrum</u>	-	-	-	+	+
<u>Scenedesmus</u>	-	-	-	-	+
<u>Micractinium</u>	-	-	-	-	+
<u>Cyclotella</u>	-	-	-	-	+
<u>Phacus</u>	-	-	+	+	-
<u>Oocystis</u>	-	-	-	+	-
Nº total de gêneros presentes	4	5	9	12	13



## 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 - Temperatura das Amostras

#### 5.1.1 - Experimento tipo 1

No monitoramento do efluente da série de lagoas, foi verificado que no primeiro período experimental, os valores médios de temperatura foram maiores que aqueles observados no segundo período experimental. A exceção foi verificada nos reatores F<sub>9</sub> e M<sub>7</sub>.

A temperatura média registrada durante os dois períodos experimentais, variou de um mínimo de 24°C, a um máximo de 26°C.

Em lagoas de estabilização, a temperatura constitui um fator importante na eficiência da lagoa, no que diz respeito a estabilização de esgoto, e eficiência de remoção de nutrientes. DOWHING, et alii (1964) citados por BRANCO, (1978) afirmaram que a temperatura ideal para a ocorrência do processo de nitrificação situa-se entre 20 e 25°C. Os dados obtidos neste tipo de experimento, encontram-se na faixa estabelecida pelos autores acima, evidenciando que a baixa taxa do processo de nitrificação na série de lagoas, pode não ter sido influenciada diretamente pelo efeito da temperatura. A remoção de nitrogênio amoniacal, através do

processo de volatilização se dá a temperaturas elevadas, parecendo que a faixa de temperatura observada no sistema contribuiu para que a amônia permanecesse solubilizada na massa líquida, não escapando para atmosfera como gás.

#### 5.1.2 - Experimento tipo 2

No Experimento tipo 2 os resultados mostram que os maiores valores de temperatura foram sempre observados nas camadas superiores, predominantemente às 14 horas (hora de maior insolação) podendo isto ser explicado pela maior exposição das camadas superiores à penetração de raios solares.

A temperatura máxima observada durante todo o período experimental foi de  $31^{\circ}\text{C}$ , às 14 horas, na superfície da lagoa  $M_8$ , enquanto que a temperatura mínima foi de  $23^{\circ}\text{C}$ , às 02 horas, predominantemente nas camadas mais profundas (70 e 100 cm) da lagoa  $M_7$ .

Durante a pesquisa, os reatores da série cumpriram um ciclo diário de estratificação térmica e mistura. No processo de estratificação térmica, o movimento circular da água estimulado pelo vento, limita-se a camada superior, por isso, as moléculas não são capazes de se misturar com as da camada inferior devido a diferença de densidade existente entre as camadas. A estratificação térmica parece influenciar na remoção de nitrogênio por volatilização, uma

vez que o desprendimento da amônia depende do valor de pH, temperatura e condições de mistura da lagoa (PANO e MIDDLE BROOKS, 1982).

## 5.2 - pH

### 5.2.1 - Experimento tipo 1

Os valores médios de pH verificados no Experimento tipo 1, durante os dois períodos experimentais, variaram de um mínimo de 7,0 a um máximo de 7,9, sendo observado que durante o segundo período experimental, foi detectado um ligeiro aumento nos valores de pH em relação ao primeiro período. Esses aumentos também foram verificados de reator para reator, nos dois períodos experimentais, o que era de se esperar, segundo o que afirma SLESS (1974) citado por BACK (1986): "a operação de lagoas em série induz a um aumento de pH de lagoa para lagoa".

O sistema operado com tempo de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias, não apresentou valores de pH acima de 7,9 no Experimento tipo 1, o que não favorece, por exemplo, a remoção de fósforo por precipitação. Provavelmente, a não ocorrência do processo de nitrificação pode ter sido influenciada pela variação de pH verificada nos dois períodos experimentais, já que segundo BRANCO (1978), a faixa de pH ideal para que ocorra a nitrificação varia de 7,5 a 8,5, não podendo ser inferior a 6,0 ou superior a 10.

### 5.2.2 - Experimento tipo 2

No Experimento tipo 2, o maior valor de pH ao longo da série foi de 9,1, verificado no reator  $M_9$ , no nível 5 cm às 14 horas, como indicativo de uma maior atividade fotossintética de algas. O mínimo de 7,0 foi observado no reator  $A_7$  em vários níveis e horários.

Os menores valores de pH obtidos nos dois tipos de Experimentos foram sempre observados no reator  $A_7$ , estando de acordo com BACK (1986), que associou baixos valores de pH às condições anaeróbias e altas cargas orgânicas.

Os valores de pH, observados nos dois tipos de Experimentos não favoreceram a volatilização da amônia que de acordo com REED (1985), ocorre mais vigorosamente na faixa de pH entre 10-12.

## 5.3 - Nitrogênio Amoniacal

### 5.3.1 - Experimento tipo 1

As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal, foram verificadas ao longo da série no segundo período experimental, com tempo de detenção hidráulica total de 40 dias. A exceção foi verificada no efluente da lagoa de maturação  $M_9$  que apresentou concentrações maiores no primeiro período experimental com período de detenção hidráulica

de 25 dias. O reator  $M_8$  também apresentou comportamento semelhante, mas somente em um terço dos intervalos mensais.

Durante cerca de quatro meses da estação de verão, as concentrações de amônia no primeiro período experimental, apresentaram-se crescentes na lagoa anaeróbia  $A_7$  em relação à concentração do esgoto bruto afluente.

O segundo período de monitoramento apresentou comportamento semelhante em 75% dos intervalos mensais, sendo a maioria também verificada nos meses de verão.

As concentrações crescentes de nitrogênio amoniacal na lagoa  $A_7$  podem ser explicadas pela liberação da amônia, que ocorre nas fases iniciais do processo de decomposição da matéria orgânica. O nitrogênio existente na urina, sob forma de uréia, é hidrolizado rapidamente pela enzima urease, para amônia. As fezes lançadas no esgoto contêm apreciáveis quantidades de nitrogênio orgânico que é convertido em grande parte para amônia, pela ação de bactérias saprófitas, sob condições aeróbicas ou anaeróbicas (SAWYER e McCARTY, 1978).

O estudo comparativo da eficiência de remoção da amônia, nos dois períodos experimentais, monitorados, respectivamente, com tempos de detenção hidráulica de 25 e 40 dias, mostrou que remoções expressivas foram verificadas no segundo período, atingindo no mês de dezembro de 1987, um valor de 53,8% (22,6 mgN/l). A exceção neste período, ocorreu nos meses de janeiro, fevereiro e julho que não a

presentaram remoção de amônia.

No segundo período experimental a ação de cada reator na remoção de nitrogênio amoniacal foi mais pronunciada que durante o primeiro período.

O fator profundidade pode ter proporcionado condições necessárias para que a amônia permanecesse na fase líquida, impedindo que houvesse desprendimento da mesma para a atmosfera.

### 5.3.2 - Experimento tipo 2

As concentrações de nitrogênio amoniacal no Experimento tipo 2, foram uniformes no reator A<sub>7</sub>. As lagoas F<sub>9</sub> e M<sub>7</sub> caracterizaram-se por apresentar variações eventuais nas concentrações de amônia em alguns dos experimentos. Essas variações foram frequentemente observadas nas camadas superiores entre 5 e 30 cm, apresentando valores menores que a uniformidade peculiar de cada horário. Os reatores M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub> tiveram comportamento semelhante, sendo que em proporções menores.

Os dados obtidos neste tipo de Experimento mostram que não ocorreram variações significativas das concentrações de amônia durante o ciclo diário em cada reator. Eventuais variações ocorreram predominantemente nas camadas aeróbias e na zona fótica de alguns reatores.

Comparando-se os dados de nitrogênio amoniacal obti

dos no sistema experimental constituído por lagoas profundas com aqueles de lagoas rasas tratando esgotos domésticos na EXTRABES (KÖNIG et alii, 1987) foi possível observar que lagoas profundas não foram eficientes na remoção de amônia.

### 5.3.3 - Aspectos da toxicidade de amônia para a população de algas

As concentrações de amônia variaram de um mínimo de 13,56 mgN/l no reator M<sub>9</sub> a 42,00 mgN/l no reator F<sub>9</sub>. Os fatores que podem alterar o comportamento das lagoas de estabilização são segundo SHILLINGLAW e PIETERSE (1972), as grandes variações nas concentrações de amônia, afetando espécies de algas, como também o efeito da biomassa total de algas.

A toxicidade de amônia constitui um dos fatores que influenciam a atividade de algas, acarretando problema no tratamento de esgotos em lagoas.

De acordo com ABELIOVICH e AZOV (1976), a toxicidade de amônia para a população de algas só ocorre quando o pH for maior que 8,0, e a concentração de amônia for superior a 28 mgN/l (2mM). No entanto, AZOV e SHELEF (1987), estudando os efeitos de pH, no comportamento de lagoas de oxidação de alta taxa, refere-se a toxicidade de amônia total ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) quando as concentrações forem acerca de

5 mM (70 mgN/l). Segundo esses autores quando altas concentrações de amônia estão presentes no esgoto, a elevados valores de pH, a inibição da fotossíntese de algas ocorrerá, e quando a concentração de amônia é reduzida devido a desprendimento ou absorção por algas, a fotossíntese será reiniciada, causando o aumento do pH.

Os resultados obtidos nos 18 experimentos realizados nas lagoas da série, mostraram que em nenhum experimento houve o preenchimento das duas condições necessárias à toxicidade de amônia citadas por ABELIOVICH e AZOV (1976) e AZOV e SHELEF (1987), ou seja, quando o pH era acima de 8,0, as concentrações de amônia eram inferiores a 28 mgN/l, e vice-versa.

#### 5.4 - Nitrogênio Nítrico

##### 5.4.1 - Experimento tipo 1

As concentrações de nitrogênio nítrico durante os dois períodos experimentais não mostraram ter ocorrido nitrificação ou remoção acentuadas. Em apenas 3 dos intervalos mensais (25%) foi possível observar a ocorrência eventual do processo de nitrificação, sendo que no segundo período de monitoramento com tempo de detenção hidráulica de 40 dias, a nitrificação foi mais evidente. Os dados obtidos neste experimento parecem concordar com REED (1985) que afirma que taxas de nitrificação em lagoas de estabiliza



ção são mínimas.

As baixas concentrações de nitrito e nitrato presentes em lagoas de estabilização segundo FERRARA e AVCI (1982) e SILVA (1982) são indicativos da falta de condições de crescimento para bactérias nitrificantes. Nas lagoas profundas tal situação pode ter sido responsável pela não ocorrência significativa do processo de nitrificação. Essas bactérias são aeróbias obrigatórias, quimioautótrofas e mesófilas.

#### 5.4.2 - Experimento tipo 2

O exame de distribuição das concentrações de nitrato no interior do reator A<sub>7</sub>, mostrou que em dois experimentos ao longo do ciclo diário, houve, em 12 operações de coleta de amostras em profundidade, uniformidade de concentrações na coluna de água em que a primeira vista os valores não foram uniformes, as concentrações apresentaram-se entre um mínimo de 0,09 mgN/l e 0,27 mgN/l, o que, para finalidades práticas pode sugerir a ocorrência de uniformidade.

Tomando-se por base a proximidade das concentrações em ambos os experimentos, só é possível estabelecer que:

- a) Descartada a hipótese da existência de interferências no método, existe no interior da massa líquida do reator anaeróbio, uma concentração re

sidual de nitrato cujos valores são sempre inferiores a 1,0 mgN/l.

- b) Para um mesmo Experimento, há uma certa uniformidade na distribuição de tal forma de nitrogênio no ciclo diário.

Na lagoa facultativa secundária foram verificadas maiores concentrações de nitrato na massa líquida ao longo do ciclo diário, frequentemente nas camadas superiores, onde as concentrações registraram valores maiores durante o horário diurno. Comportamento idêntico ocorreu nas camadas mais profundas a partir das 18 horas. No entanto, de um modo geral, os valores das concentrações de nitrato foram maiores que no reator anaeróbico.

Nas lagoas de maturação as variações foram raras. A exceção ocorreu no último estágio, lagoa M<sub>9</sub>, onde foi verificada uma ligeira nitrificação, apresentando ao longo da profundidade maiores concentrações nas camadas aeróbicas, o que está de acordo com a teoria.

A profundidade dos reatores, interferindo na incidência de raios solares na massa líquida, e consequentemente no crescimento de bactérias nitrificantes, pode ser o responsável pela baixa taxa de nitrificação no sistema experimental. Dessa maneira, é necessário ter sempre em mente que uma lagoa de estabilização é um reator que normalmente cumpre um ciclo diário com tendência a apresentar condições de aerobiose durante o dia, e de anaerobiose durante a noi

te. Lagoas que assim funcionem têm pouca possibilidade de apresentar a ocorrência de nitrificação em face do limite do tempo de exposição às condições favoráveis à aerobiose.

## 5.5 - Ortofosfato Solúvel

### 5.5.1 - Experimento tipo 1

As concentrações de ortofosfato solúvel, apresenta ram-se uniformes ao longo da série, não sendo verificadas variações sazonais importantes, nos dois períodos experi mentais monitorados respectivamente com tempos de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias.

Em 84% dos intervalos mensais, as concentrações de ortofosfato solúvel nos dois períodos foram crescentes ao longo da série, em relação à concentração do esgoto bruto afluente. Esses aumentos podem ser atribuídos à quantidade de fósforo orgânico presente no esgoto bruto proveniente das fezes, que é convertido bioquimicamente para ortofosfa to, como também à hidrólise de polifosfatos de detergentes lançados ao esgoto.

Em relação à influência do tempo de detenção na efi ciência de remoção de nutrientes no caso em questão, fósfo ro na forma ortofosfato solúvel, foi verificado que o sis tema experimental operado com tempos de detenção hidráuli ca de 5 e 8 dias, por reator, não foi eficiente para remo

ver ortofosfato.

De acordo com SILVA et alii (1987), lagoas rasas (1,0 - 1,2 m de profundidade) são mais eficientes na remoção de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo.

Nos dois períodos de monitoramentos os dados de clorofila a observados, não indicaram grande florescimento de algas. Conseqüentemente pode não ter sido significativa a incorporação de ortofosfato na massa celular desses microorganismos.

A profundidade dos reatores, pode ter sido responsável por condições desfavoráveis à remoção de ortofosfato. Valores baixos de pH, verificados durante o experimento com um mínimo de 6,7 e um máximo de 8,1, nos dois períodos contribuíram para que o ortofosfato permanecesse solubilizado na massa líquida.

Segundo PIPES (1961), citado por BRANCO (1978) o fósforo é precipitado como ortofosfato insolúvel, quando se observam valores de pH acima de 9,0, o que não ocorreu durante o período experimental.

#### 5.5.2 - Experimento tipo 2

As concentrações de ortofosfato solúvel no estudo de distribuição vertical de parâmetros, não apresentaram variações ao longo da profundidade nos reatores A<sub>7</sub>, E<sub>9</sub>,

M<sub>7</sub> e M<sub>8</sub>. No reator M<sub>9</sub>, último estágio da série, foram realizados 04 (quatro) Experimentos e apenas o de nº 12, apresentou no horário das 18 horas uma diferença de 0,1 mgP/l de nível para nível, variando de 2,8 mgP/l no nível 5 cm a 3,3 mgP/l no nível 195 cm. Esse comportamento pode ser explicado pelo fenômeno de precipitação do ortofosfato para o fundo do reator, já que o máximo valor de pH verificado neste Experimento foi de 9,1 (condição favorável a precipitação).

## 5.6 - Fósforo Total

### 5.6.1 - Experimento tipo 1

A comparação dos dados obtidos nos dois períodos de monitoramento com tempos de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias, permitiu observar que as concentrações de fósforo total no segundo período de monitoramento foram maiores que as observadas no primeiro período experimental.

O fósforo total do esgoto bruto afluente, no primeiro período experimental foi maior nos meses de verão (agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro) que nos meses de inverno (março, abril, maio, junho) estando de acordo com os dados obtidos por NARASIAH e MORASSE, (1984) que estudando as variações sazonais de espécies de fosfatos em águas residuárias, atribuíram este aumento ao resultado da atividade microbiana. No segundo período experimental, as

maiores concentrações do esgoto bruto efluente foram verificadas nos meses de inverno.

A qualidade do efluente final mostrou que a remoção de fósforo total no sistema experimental ocorreu eventualmente, o que está de acordo com SILVA et alii (1987) que afirmam ser a remoção de fósforo, nas lagoas profundas, essencialmente zero, quando comparadas com lagoas rasas.

A eficiência de remoção biológica e química de fósforo usualmente está ligada a insolubilidade de ortofosfato. Os dados obtidos nesta pesquisa em lagoas profundas mostraram que condições favoráveis à insolubilização do fósforo (valores de pH acima de 9,0), não foram observadas.

A soma de todas as formas do conteúdo de fósforo, constituem o fósforo total, e se não foi observada remoção significativa deste nutriente, há evidências que também não ocorreu o processo de sedimentação do fósforo orgânico incorporado na biomassa microbiana.

#### 5.6.2 - Experimento tipo 2

O estudo da distribuição das concentrações de fósforo total ao longo da profundidade, mostrou tendências de uniformidade de valores durante todo o ciclo diário nos reatores do sistema experimental. Algumas variações foram verificadas ocasionalmente.

Na maioria dos Experimentos realizados, foi possível

vel observar que as maiores concentrações de fósforo total, situaram-se nas camadas superficiais dos reatores, entre 5 e 30 cm, predominantemente no horário diurno entre 10 e 14 horas, estando essas máximas concentrações sempre associadas aos maiores valores de clorofila a, (KÖNIG, 1984).

Nos horários em que os reatores apresentavam valores de pH elevados, na ocorrência de aerobiose, as concentrações de fósforo total na massa líquida foram sempre maiores.

Um sistema experimental se mostra eficiente na remoção de fósforo, à medida que os reatores apresentam condições favoráveis para que o fósforo total deixe a coluna de água por sedimentação, ou se precipite, na forma insolúvel.

## 5.7 - Clorofila a

### 5.7.1 - Experimento tipo 1

As concentrações médias de clorofila a, variaram de um mínimo de 72,2  $\mu\text{g}/\text{l}$  no reator F<sub>9</sub>, a um máximo de 132,3  $\mu\text{g}/\text{l}$  para o sistema operado com tempo de detenção total de 25 dias. No segundo período experimental, a mínima concentração observada foi de 64,3  $\mu\text{g}/\text{l}$ , no reator M<sub>9</sub>, enquanto que a máxima de 178,5  $\mu\text{g}/\text{l}$  ocorreu na lagoa de maturação

M<sub>7</sub>.

Comparando-se os valores médios das concentrações de

clorofila a, nos reatores do sistema experimental, com tempos de detenção hidráulica totais de 25 e 40 dias, foi possível observar que no segundo período experimental, as concentrações médias de clorofila a, foram sempre maiores nos reatores F<sub>9</sub>, M<sub>7</sub> e M<sub>8</sub>. A exceção foi verificada na lagoa de maturação M<sub>9</sub> que apresentou no segundo período experimental, uma concentração menor de clorofila a em relação ao primeiro período. O aumento do tempo de detenção de 25 para 40 dias, contribuindo para uma baixa carga orgânica, e uma maior limitação de nutrientes, pode ter sido responsável pela diminuição do florescimento de algas.

#### 5.7.2 - Experimento tipo 2

Durante todo o período experimental, do Experimento tipo 2, o máximo valor da concentração de clorofila a, foi de 2730,2 µg/l, no nível 30 cm, no reator F<sub>9</sub> às 10 horas, enquanto que concentrações nulas foram observadas nos reatores F<sub>9</sub> e M<sub>7</sub> no nível 30 cm, no horário noturno, e no reator M<sub>9</sub> nos níveis 150 e 195 cm, também no horário noturno.

Os valores elevados de concentrações de clorofila a, em lagoas de estabilização evidenciam a ocorrência de grandes florescimentos de algas, enquanto que os decréscimos observados, podem indicar uma inibição, provocada por algum fator presente no meio aquático, que pode ser por exemplo, aumento repentino na concentração de amônia ou deficiência de carbono no sistema (SHILLINGLAW e PIETERSE.



1978). Além do mais, baixas concentrações de clorofila a, num nível particular da coluna d'água, podem preceder altas concentrações e vice-versa, em diferentes horários de coleta em decorrência dos movimentos migratórios diurnos das algas ao longo da profundidade da lagoa (BACK, 1986; GUIMARÃES, 1986).

## 5.8 - Identificação e Contagem de Algas

### 5.8.1 - Experimento tipo 2

No Experimento tipo 2, a variação dos gêneros de algas presentes nos reatores do sistema experimental foi de 4, na lagoa anaeróbica A<sub>7</sub>, a 13, na lagoa de maturação M<sub>9</sub>. Este aumento do número de gêneros presente nos vários reatores, sugere que um aumento no tempo de detenção de 25 (BACK, 1986) para 40 dias, influenciou significativamente no aumento da diversidade dos gêneros, uma vez que existe uma relação inversa entre o aumento da diversidade das espécies com a diminuição da carga orgânica das lagoas (KONIG, 1984).

A presença de algas em reatores anaeróbicos, é pouco frequente, uma vez que as condições existentes, nesses tipos de lagoas não são favoráveis à proliferação de algas.

O aparecimento da alga Chlorella sp, na lagoa anaeróbica A<sub>7</sub>, com carga orgânica superficial de 474,8 kg.DBO<sub>5</sub>.

$\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , parece não concordar com os dados obtidos por KONIG (1984) que registrou o aparecimento desse gênero de algas em lagoas facultativas primárias com cargas orgânicas de até  $425,0 \text{ kg.DBO}_5.\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (carga orgânica muito próxima a da lagoa anaeróbia estudada nesta pesquisa). A citada autora observou que a partir de  $464,0$  até  $577,0 \text{ kg.DBO}_5.\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , houve um desaparecimento desse gênero de algas. No entanto, de NOYELLES (1967) afirma que o gênero não flagelado Chlorella sp, se desenvolve em lagoas com cargas orgânicas de moderadas a altas, enquanto BUSH et alii, citados por GUIMARÃES (1986), afirmam que a presença de Chlorella está relacionada com altas cargas orgânicas.

A alga Chlamydomonas sp assim como Pyrobotrys sp são capazes de realizar fotossíntese anoxigênica, e MYERS (1962), afirma que essas algas podem utilizar compostos orgânicos (glucose ou acetato) ao contrário de  $\text{CO}_2$ , sem a posterior evolução de  $\text{O}_2$ . Este tipo de fotossíntese é realizada por muitas algas quimiotróficas que possuem a capacidade de utilizar acetato, crescendo na ausência total de oxigênio. A água não é utilizada como substrato, e o  $\text{O}_2$  não é produzido durante a fotossíntese anoxigênica.

A alga flagelada Euglena sp esteve presente em lagoas com cargas orgânicas muito variáveis, sendo a forma mais tolerante à poluição orgânica (PALMER, 1969). Essa alga pode ser considerada ecologicamente versátil, uma vez que se adapta em cargas orgânicas muito variáveis.

análise dos resultados obtidos na contagem dos gê

neros de algas mostram que houve a predominância de Chlamydomonas sp nos experimentos realizados nas lagoas A<sub>7</sub>, F<sub>9</sub> e M<sub>7</sub>, enquanto que Euglena sp e Chlorella sp, predominaram nos Experimentos realizados em M<sub>8</sub> e M<sub>9</sub>, respectivamente.

## CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa, sobre a influência do tempo de detenção hidráulica total de 25 e 40 dias no comportamento de nutrientes, mostraram que lagoas profundas (2,20 m) em série, não foram eficientes na remoção de nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico, ortofosfato solúvel e fósforo total.

O nitrogênio não foi removido ao longo da série, já que as condições existentes no sistema, não favoreceram a volatilização da amônia, e/ou absorção pelos microrganismos. No entanto, durante o Experimento tipo 1, com tempo de detenção de 40 dias a ação de cada reator, foi mais acentuada na remoção de amônia, que durante o período com tempo de detenção de 25 dias. As taxas de nitrificação não foram expressivas, e o processo ocorreu eventualmente.

A qualidade do efluente final, evidenciou que, o aumento do tempo de detenção hidráulica total de 25 para 40 dias, contribuiu para que as concentrações de amônia no segundo período experimental, fossem sempre menores que aquelas observadas no primeiro período de monitoramento.

Os dados obtidos na distribuição vertical de parâmetros, mostraram que, as concentrações de nitrogênio amoniacal não variaram significativamente durante o ciclo diário em cada reator. Variações eventuais ocorreram mais frequen

temente, nas camadas mais superiores de alguns reatores. Pode-se também concluir que as concentrações de amônia observadas, não foram suficientes para causar problemas de toxicidade para a população de algas, uma vez que as condições para amônia ser tóxica não foram satisfeitas.

O aumento no tempo de detenção de 25 para 40 dias, parece ter influenciado significativamente no aumento da diversidade dos gêneros de algas ao longo do sistema experimental.

As algas Euglena sp, Pyrobotrys sp, Chlamydomonas sp e Chlorella sp predominaram nos cinco reatores da série.

Há evidências que a remoção de fósforo nas lagoas não ocorreu por sedimentação da biomassa celular ou precipitação como ortofosfato, conseqüentemente, o fósforo total não foi reduzido ao longo da série.

Foi verificada uma similaridade entre os valores das concentrações médias de amônia, nitrato, ortofosfato solúvel e fósforo total ao longo da profundidade, com aqueles das amostras da coluna de água. Desse modo, a análise das variações diurnas destes parâmetros, pode ser feita com a utilização dos resultados de amostras da coluna d'água coletada por inteiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELIOVICH, A. & AZOV, Y. Toxicity of ammonia to algae in sewage oxidation ponds. Applied and Environmental Microbiology, vol. 31. nº 6, 1976. 801-806 p.
- ATLAS, R.M. & BARTHA, R. Microbial ecology. Fundamentals and Applications. 2<sup>nd</sup> edition. The Benjamin Cumings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California, 1987. 522 p.
- AZOV, Y. & SHELEF, G. The effect of pH on the performance of high rate oxidation ponds. Internacional Conference on Waste Stabilization Ponds, International Association Water Pollution Research Control. Lisboa, 1987.
- BACK, J.F. Caracterização de sistemas profundos de lagoas de estabilização - Lagoas em série. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1986. 119 p.
- BOGAN, R.H.; ALBERTSON, O.E.; PLUNTZE, J.Ç. Use of algae in removing phosphorus from sewage. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 86. nº SA 5, 1980. 1-20 p.
- BRANCO, S.M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo, CETESB, 1978. 620 p.

- BROCK, T.D.; SMITH, D.W.; MADIGAN, M.T. Biology of microorganisms 4<sup>th</sup> edition. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984. 848 p.
- BUCKSTEEG, K. Sewage treatment in ponds German experiences. Proceedings of the Japanese German Workshop on Waste Water Treatment and Sludge Treatment, ISSN 0386-5878, Technical Memorandum of PWRI, N<sup>o</sup> 1889, 1982. 641-662 p.
- de NOYELLES, Jr. F. Factors affecting phytoplankton distribution in a double-cell sewage lagoon. Journal of Phycology, 1967. 174-181 p.
- FAY, P. The blue-greens. The Institute of Biology's Studies in Biology. N<sup>o</sup> 160, edited by Edward Arnold Publishers Limited. 1978. 67 p.
- FERRARA, R.A. & AVCI, C.B. Nitrogen dynamics in waste stabilization ponds. Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 54. N<sup>o</sup> 4, 1982. 361-369 p.
- GIBSON, J. Nutrient transport by anoxygenic and oxygenic photosynthetic bacteria. Annual Review of Microbiology, vol. 134. 1984. 135-159 p.
- GOLDMAN, C.R. & HORNE, A.J. Limnology. McGraw-Hill, Inc. United States, 1983. 464 p.
- GOLTERMAN, H.L. & CLYMO, R.S. Methods for chemical analysis of freshwaters - IBP Book N<sup>o</sup> 8, Blackwell Scientific Publication Oxford, 1971. 166 p.

- GUIMARÃES, J.R.L. Caracterização de lagoas de estabilização profundas - Lagoas facultativas primárias. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1986. 112 p.
- HOUNG, H.J.S. & GLOYNA, E.F. Phosphorus models for waste stabilization ponds. Journal of Environmental Engineering, vol. 110. Nº 3, 1984. 550-561 p.
- IDELIOVITCH, E. & MICHAEL, M. Nitrogen removal by free ammonia stripping from high pH ponds. Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 53. Nº 9, 1981. 1391-1401 p.
- JUSIAK-PRZYTOCKA, M.; DUSZOTA, M.; MATUSIAK, K. & MYCIELSKI, R. Intensive culture of Chlorella vulgaris/AA as the second stage of biological purification of nitrogen in industry wastewaters. Water Research. Vol. 18. Nº 1, 1984. 1-7 p.
- KONIG, A. Ecophysiological studies on some algae and bacteria of waste stabilization ponds. Tese de doutoramento. Universidade de Liverpool. Inglaterra, 1984. 175 p.
- KONIG, A.; PEARSON, H.W.; SILVA, S.A. Ammonia toxicity of algal growth in waste stabilization ponds. Water Science and Technology, vol. 19. Nº 12, 1987. 61-64 p.
- MARA, D.D. & PEARSON, H.W. Artificial freshwater environmental waste stabilization ponds. Edited by Rehm, H.J. & Reed, G. Biotechnology, vol. 3, VCH Verlagsgesellschaft



sellschaft, Weinheim, 1986. 179-206 p.

MYERS, J. Laboratory cultures in physiology and biochemistry of algae. Edited by R.A. Lewin New York and London, 1962. 603-615 p.

NARASIAH, K.S. & MORASSE, C. Seasonal variations of phosphate species in wastewater. Journal of Environmental Engineering, vol. 110, No 5, 1984. 1005-1008 p.

PALMER, C.M. A composite rating of algae tolerating organic pollution. Journal of Phycology, No 5, 1969. 78-82 p.

PANO, A. & MIDDLEBROOKS, E.J. Ammonia nitrogen removal in facultative wastewater stabilization ponds. Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 54. No 4, 1982. 344-351 p.

PEARSON, H.W.; MARA, D.D.; MILLS, S.W.; SMALLMAN, D. Factors determining algal populations in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. Water Science Technology, International Association on Water Pollution Research and Control. No 11. 1987.

POSTGATE, J. Nitrogen fixation. The Institute of Biology's Studies in Biology. No 92, edited by Edward Arnold Publishers Limited. 1978. 67 p.

REED, S.C. Nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 57. No 1. 1985. 39-45 p.

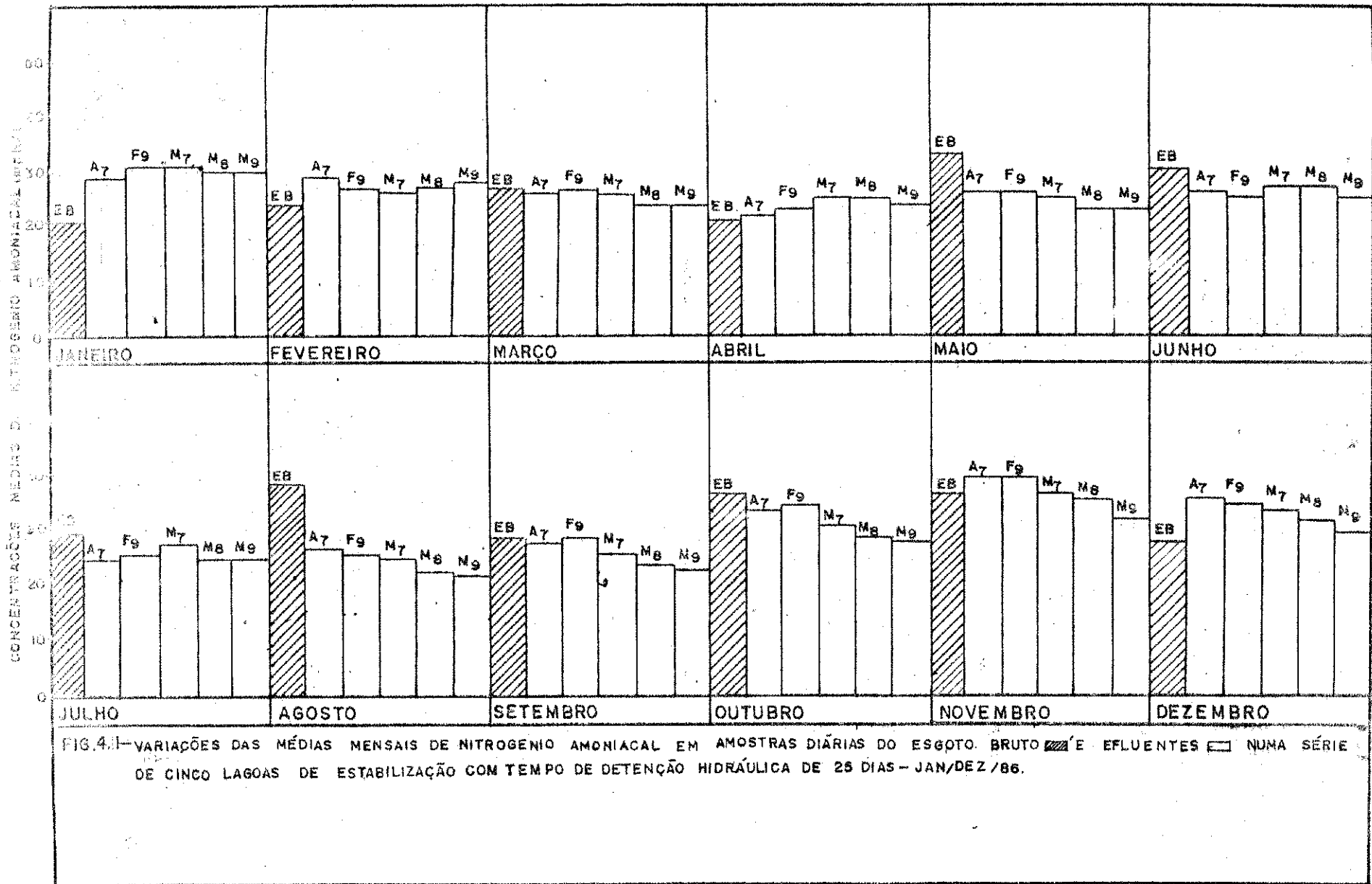
- REEVES, T.G. Nitrogen removal: a literature review. Jour  
nal of the Water Pollution Control Federation, vol. 44,  
Nº 10. 1972. 1895-1908 p.
- ROUND, F.E. The ecology of algae. Cambridge University  
Press. Cambridge, 1981. 653 p.
- SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. Chemistry for Environmental  
Engineering. 3<sup>th</sup> edition. International Student Edition,  
McGraw-Hill Book Company, 1985. 532 p.
- SHILLINGLAW, S.N. & PIETERSE, A.J.H. Observation on algae  
populations in a experimental maturation pond sistem.  
Water S.A. vol. 3. Nº 4. 1987. 183-192 p.
- SILVA, S.A. On the treatment of domestic sewage in stabili  
zation ponds in Northeast Brazil. Tese de doutoramento.  
Universidade de Dundee - Escócia, 1982. 236 p.
- SILVA, S.A. Eficiência de lagoas anaeróbias no tratamento  
de esgotos domésticos no Nordeste do Brasil. Coleção de  
Trabalhos Técnicos Resultantes das Pesquisas realizadas  
na EXTRABES, 1983. 5 p.
- SILVA, S.A. Remoção de nutrientes em lagoas facultativas  
primárias tratando esgotos domésticos no Nordeste do  
Brasil. Coleção de Trabalhos Técnicos Resultantes das  
Pesquisas realizadas na EXTRABES, 1984. 6 p.
- SILVA, S.A.; MARA, D.D. & OLIVEIRA, R. The performance of  
a series of five deep waste stabilization ponds in Nor  
theast Brazil, Water Science Technology, vol. 19. Nº 12.

1987. 61-64 p.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16<sup>th</sup> edition. Washington DC, 1985. 1268 p.

WELCH, E.B. Ecological effects of waste water. Cambridge University Press. Cambridge, 1980. 337 p.

A N E X O



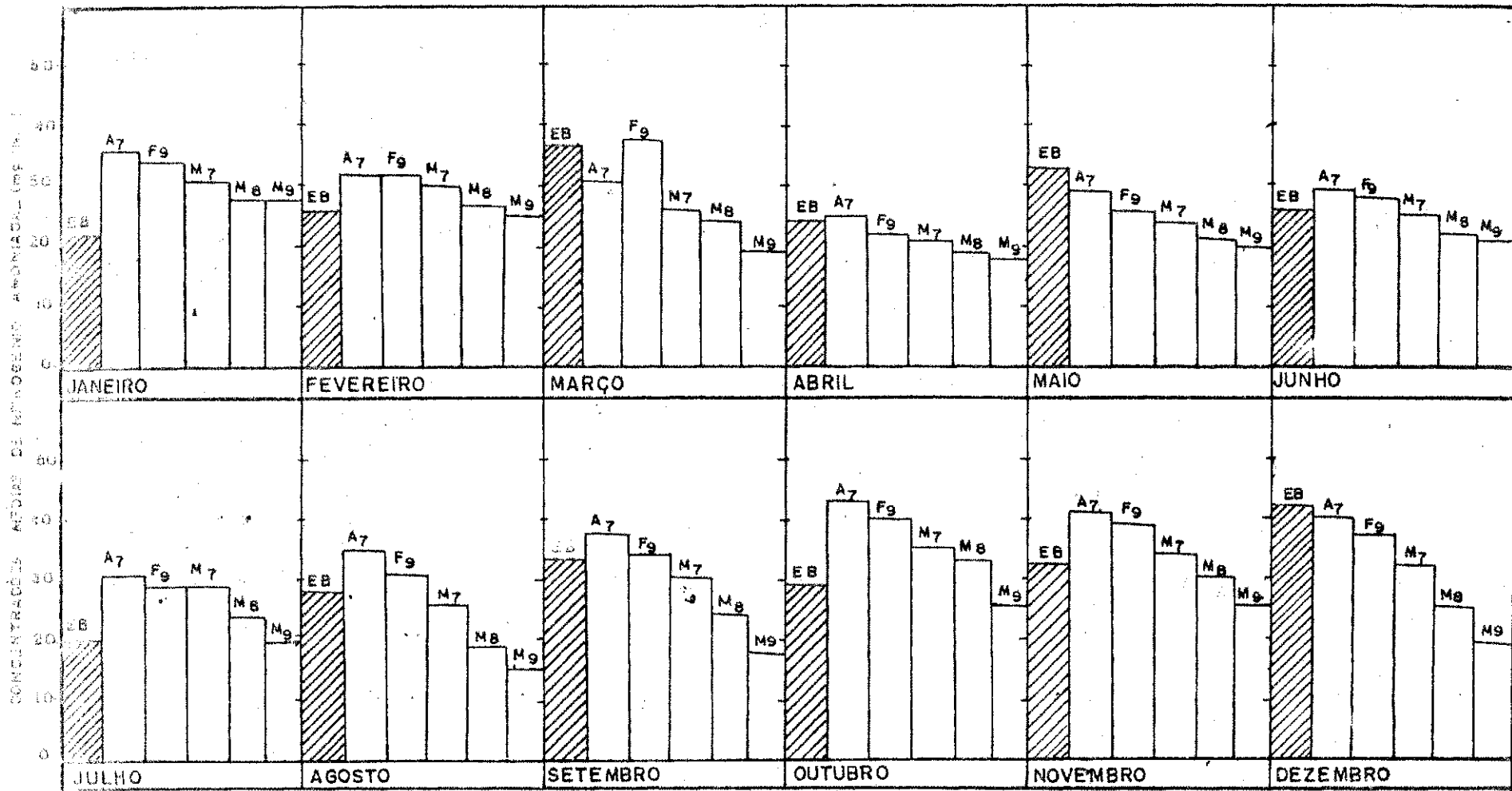


FIG.2—VARIÇÕES DAS MÉDIAS MENSIS DE NITROGENIO AMONICAL EM AMOTRAS DIÁRIAS DO ESGOTO BRUTO E EFLUENTES NUMA SÉRIE DE CINCO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRAÚLICA DE 40 DIAS — JAN / DEZ / 87

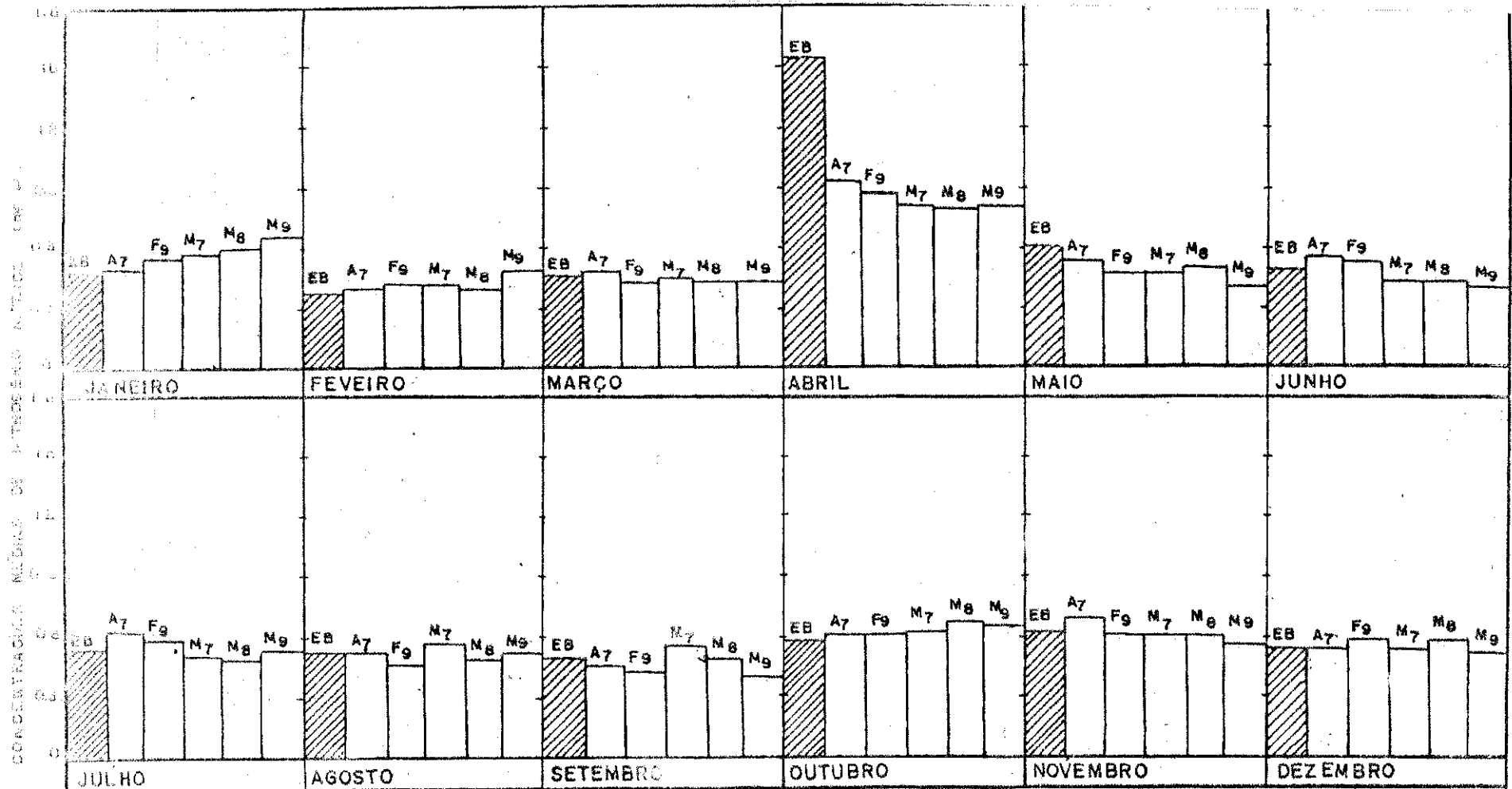


FIG. 4.3 - VARIÇÕES DAS MÉDIAS MENSAIS DE NITROGENIO NÍTRICO EM AMOSTRAS DIÁRIAS DO ESGOTO BRUTO (EB) E AFLUENTES (A7, F9, M7, M8, M9) NUMA SÉRIE DE CINCO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 25 DIAS - JAN/DEZ/86.

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE NITROGÊNIO NÍTICO (mg N/l)

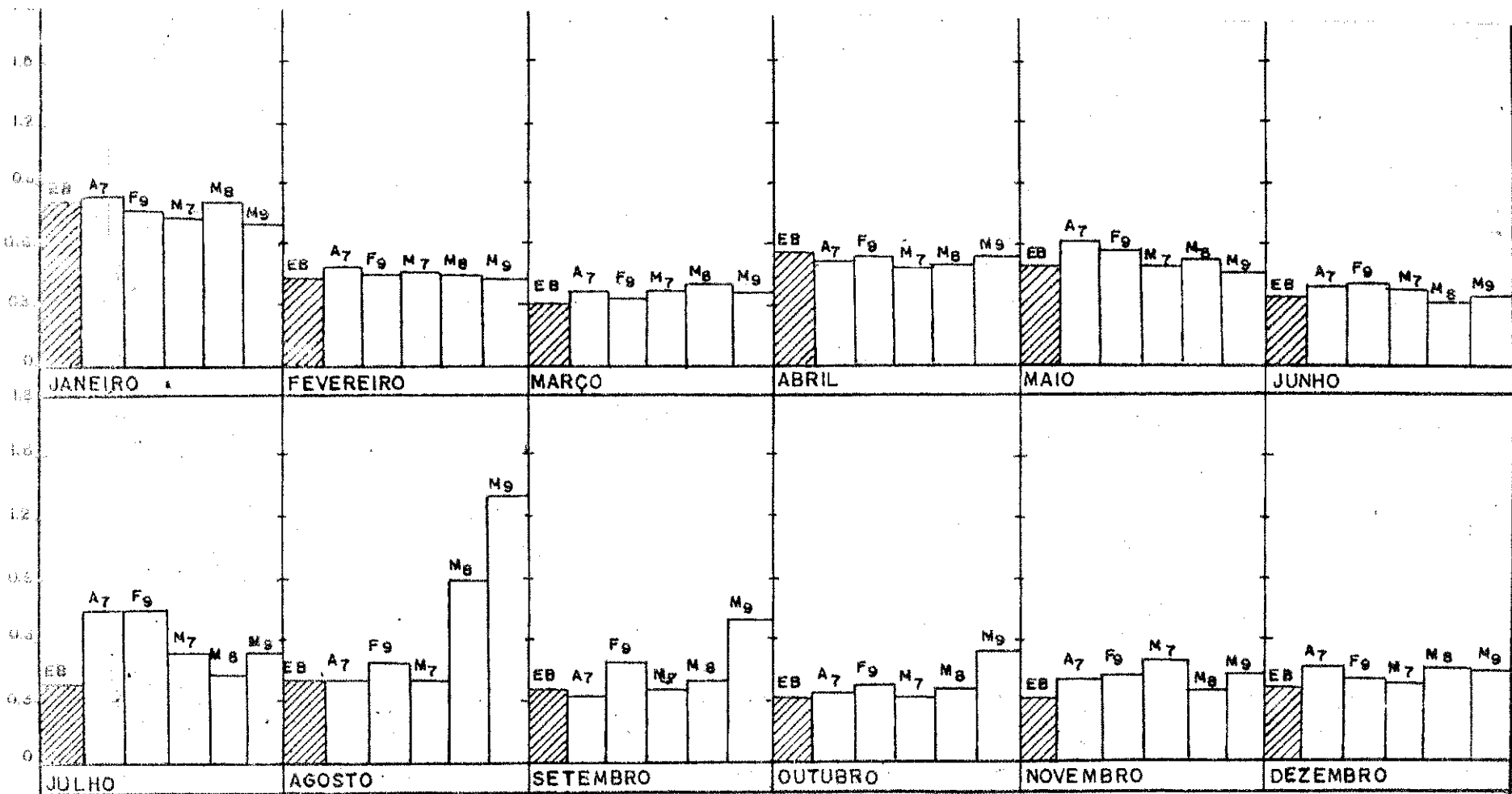
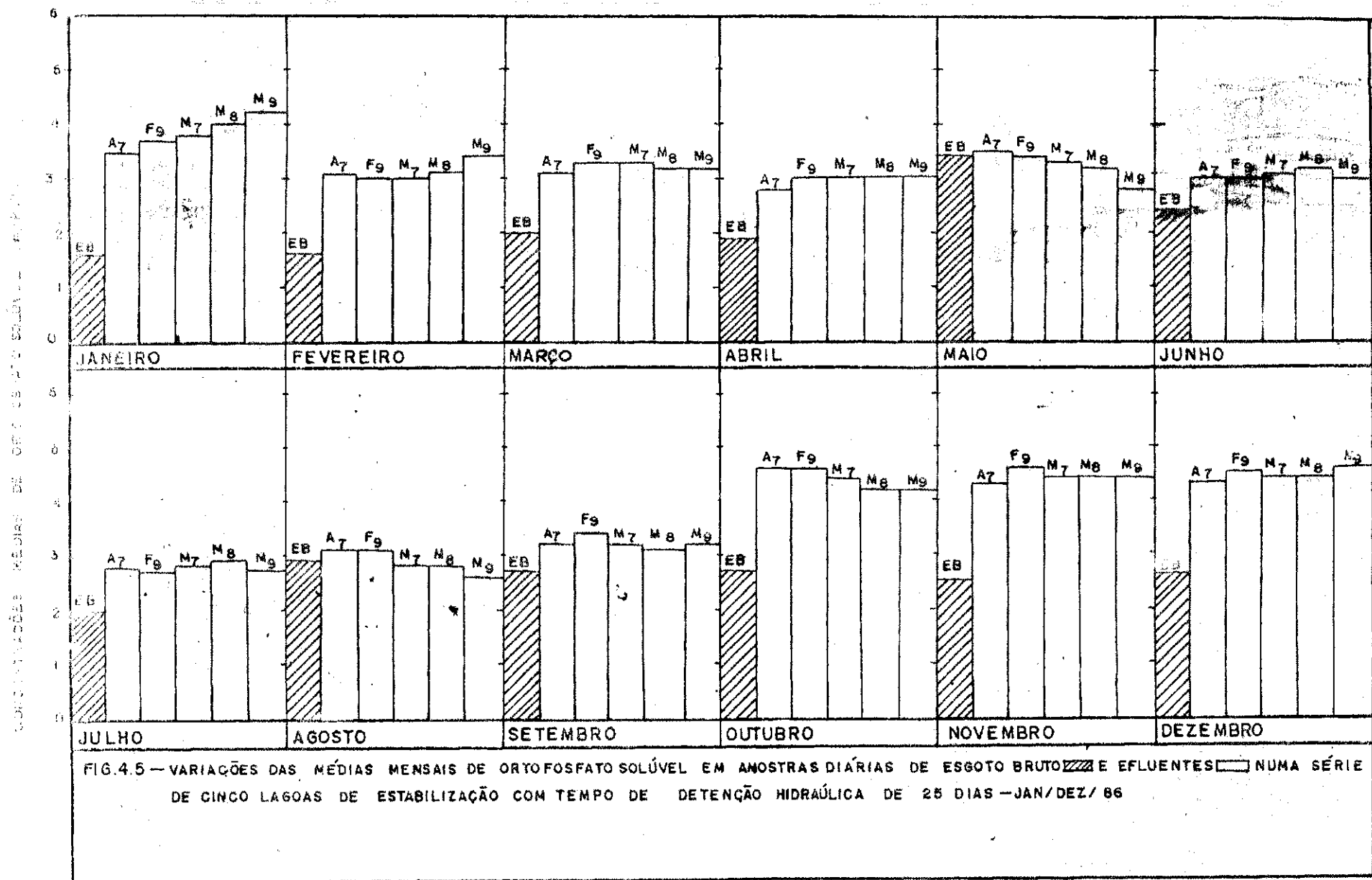


FIG.4.4—VARIÁÇÕES DAS MÉDIAS MENSIS DE NITROGÊNIO NÍTICO EM AMOSTRAS DIÁRIAS DO ESGOTO BRUTO (EB) E EFLUENTES (A7, F9, M7, M8, M9) NUMA SÉRIE DE CINCO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 40 DIAS—JAN/DEZ/67.





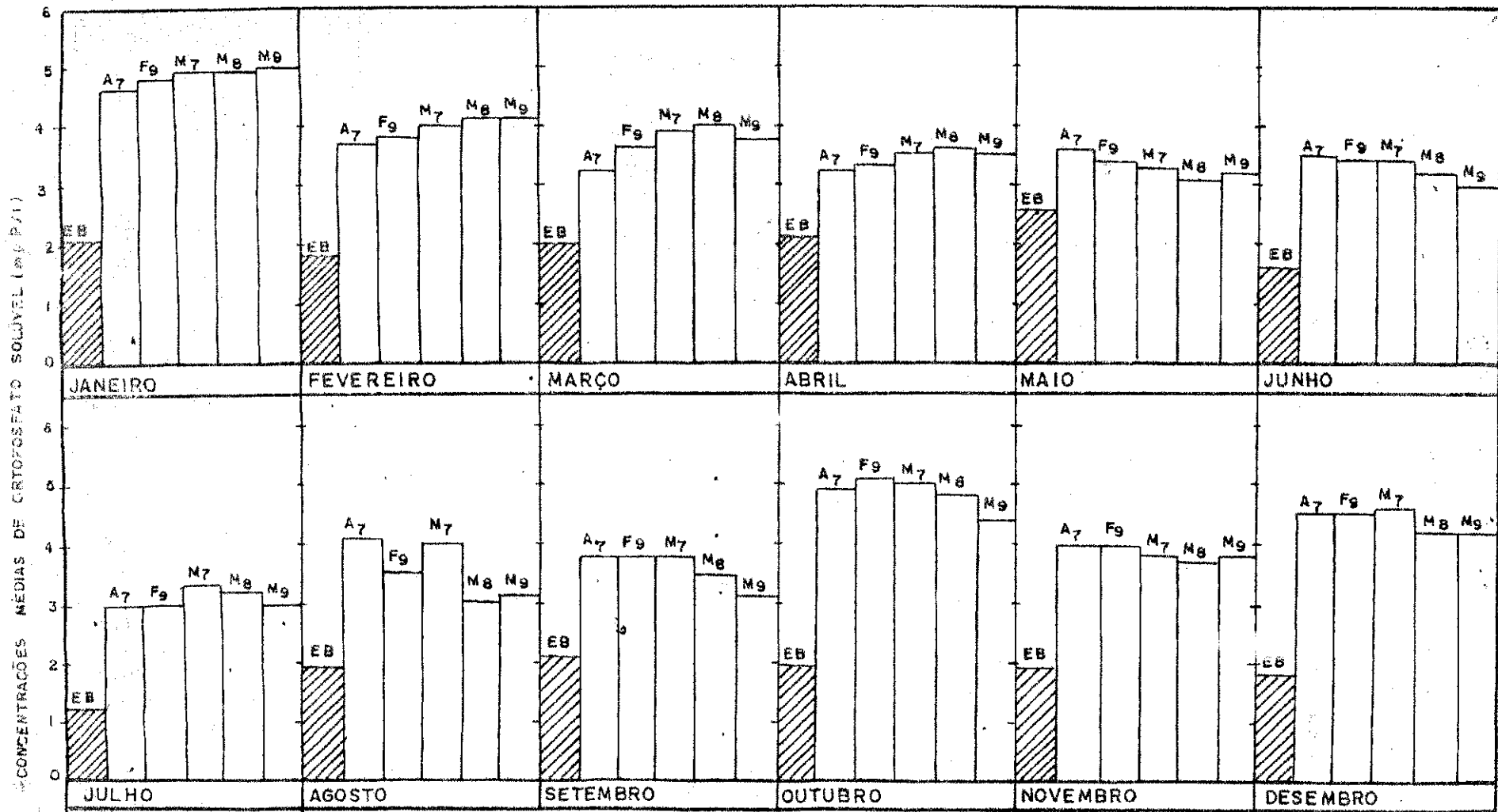


FIG.4.6—VARIÇÕES DAS MÉDIAS MENSAIS DE ORTOFOSFATO SOLÚVEL EM AMOSTRAS DIÁRIAS DE ESBOTO BRUTO (EB) E EFLUENTES (A7, F9, M7, M8, M9) NUMA SÉRIE DE CINCO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 40 DIAS—JAN/DEZ/87.

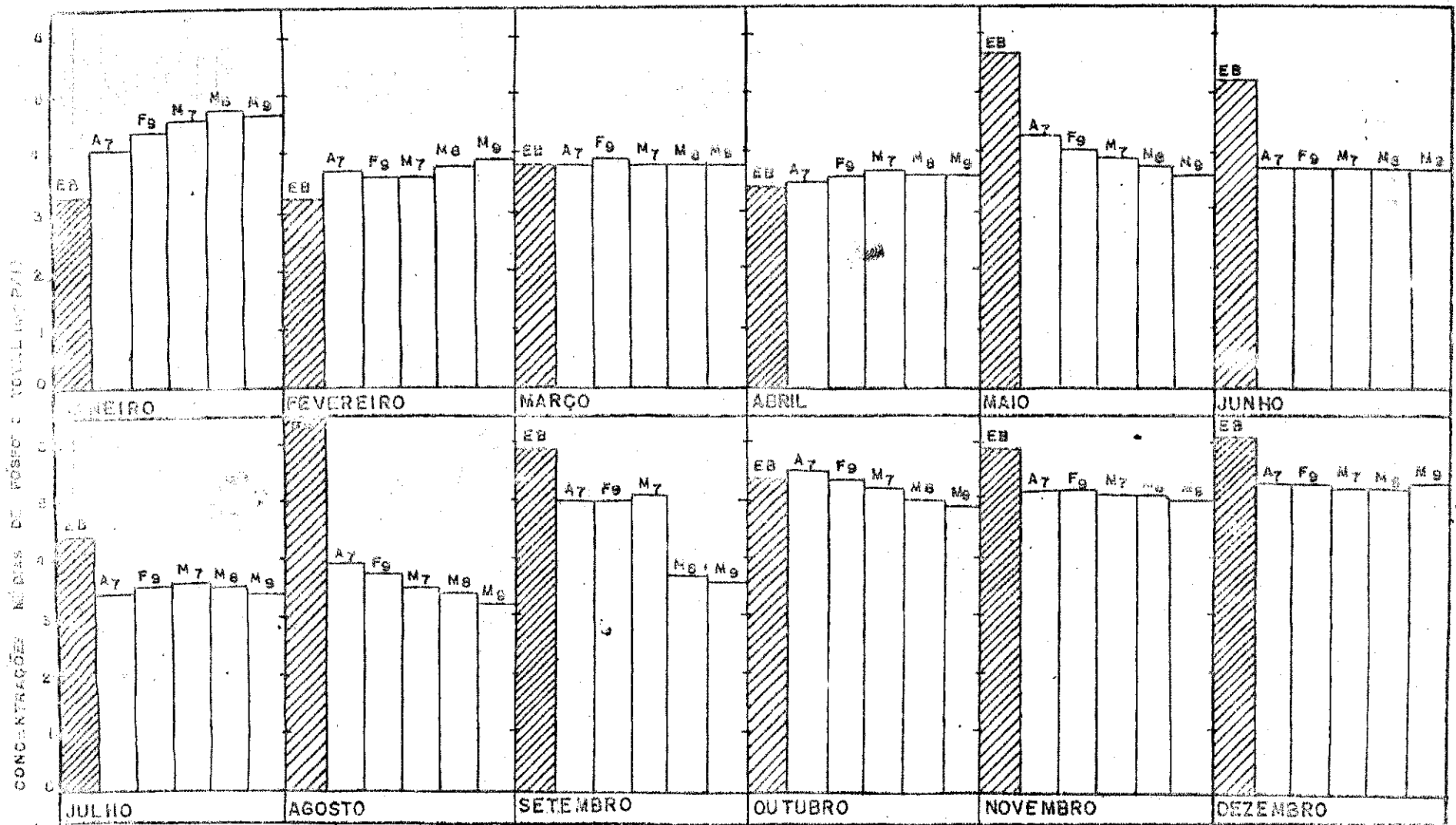
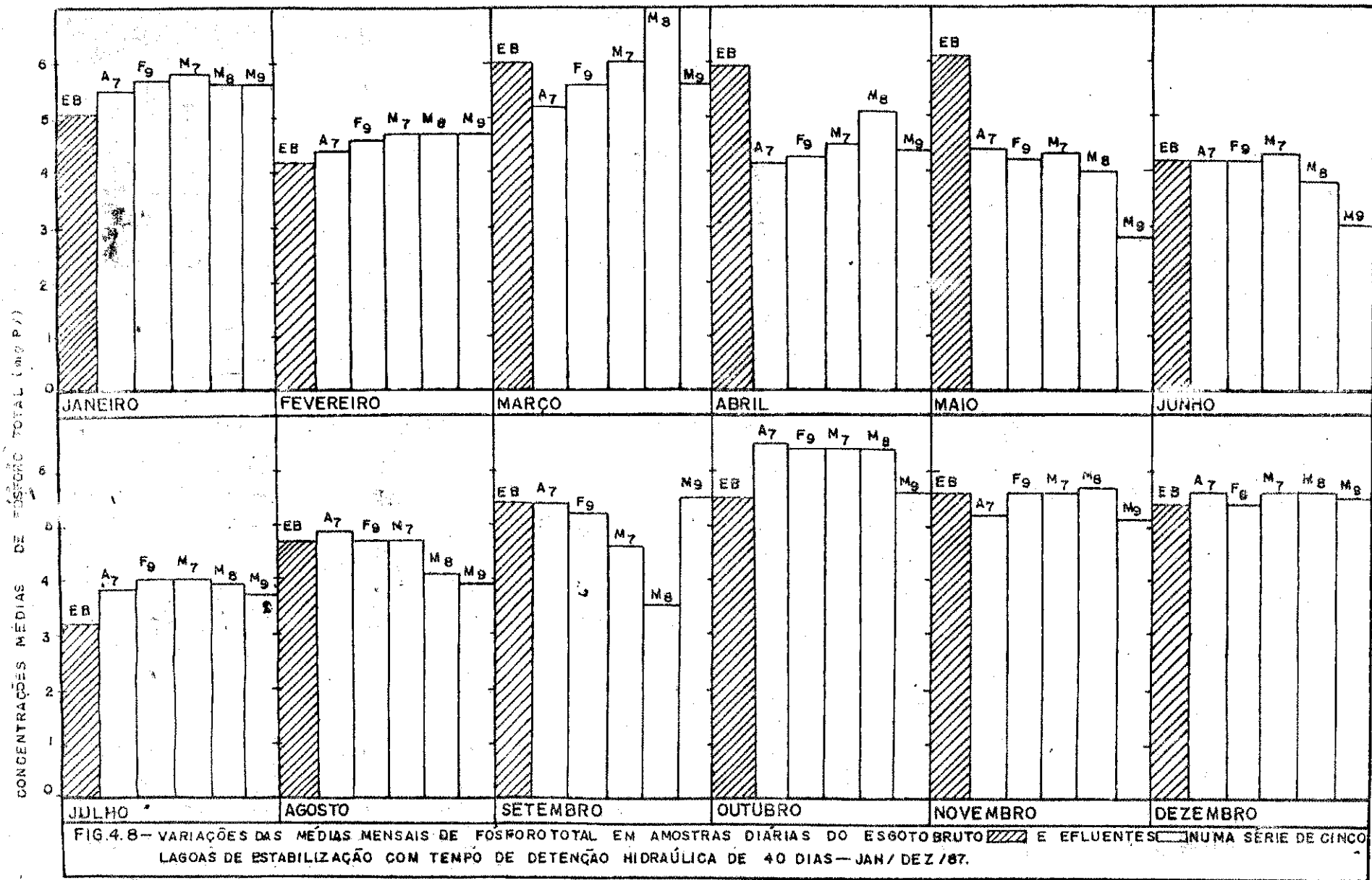


FIG.4.7 - VARIÇÕES DAS MÉDIAS MENSIS DE FÓSFORO TOTAL EM AMOSTRAS DIÁRIAS DO ESGOTO BRUTO (EB) E EFLUENTES (A7, F9, M7, M8, M9) NUMA SÉRIE DE CINCO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 25 DIAS - JAN/DEZ/86.



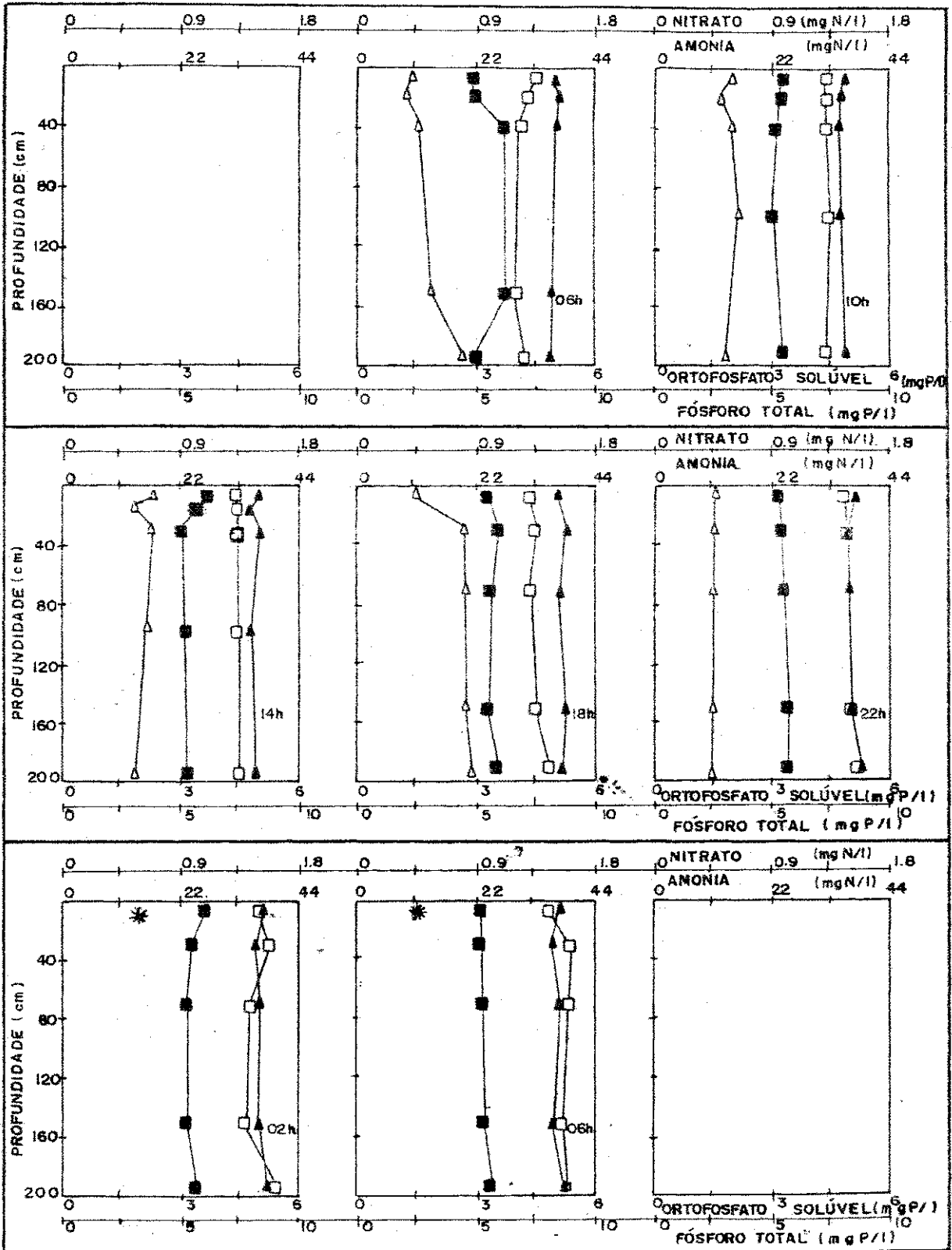


FIG.4.9-VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO ( $\Delta$ ), AMONIA ( $\square$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL ( $\square$ ), E FÓSFORO TOTAL ( $\blacksquare$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA ANA-ERÓBIA A<sub>7</sub> (04-05.11.87).

\* LEITURA NÃO SATISFATORIA DE NITRATO.

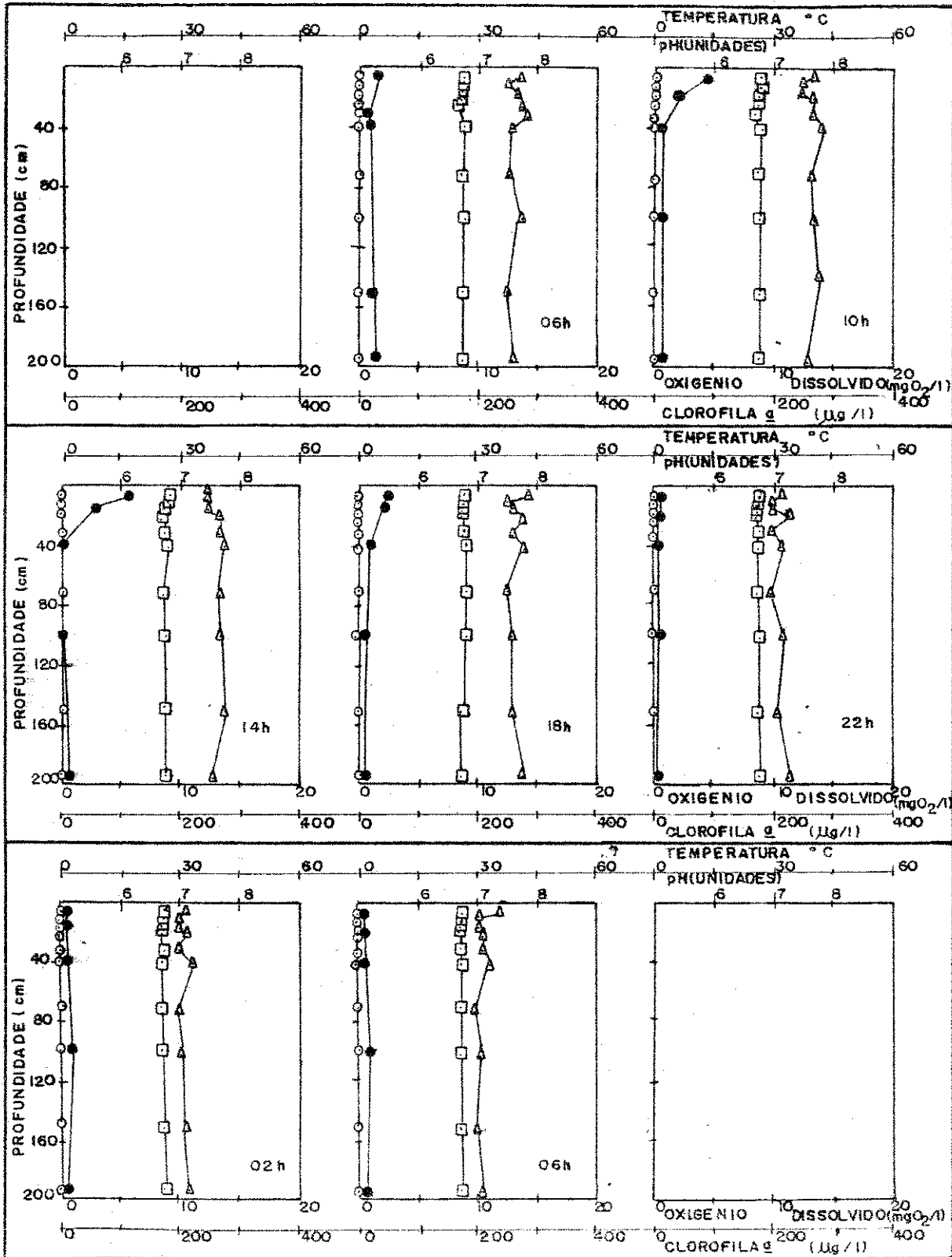


FIG. 4.10 — VARIÇÕES NOS VALORES DE pH (Δ), TEMPERATURA (□) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (●) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (○) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA ANAERÓBIA A<sub>7</sub> (04-05.11.87).

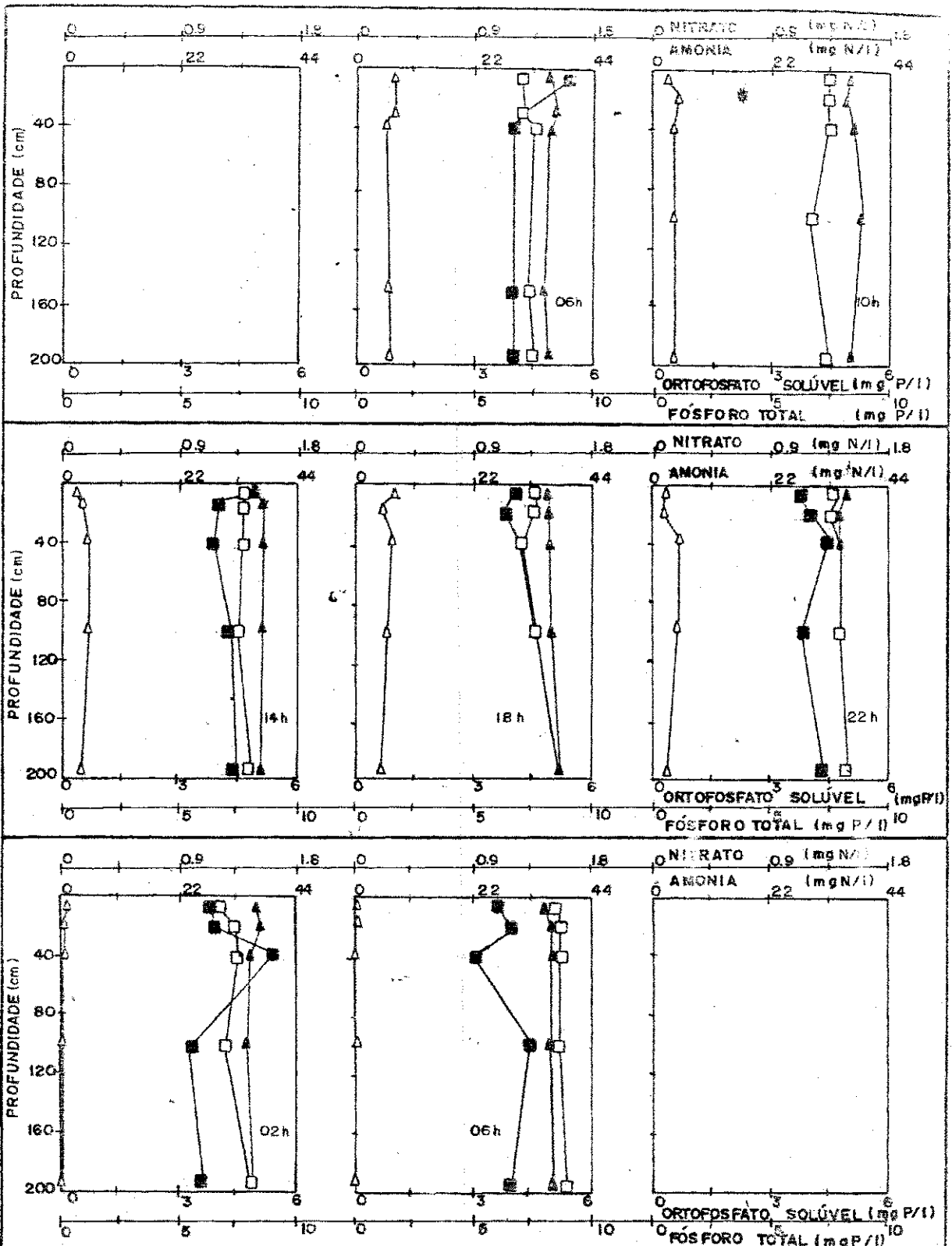


FIG.4.11—VARIÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA ANAERÓBIA A<sub>7</sub> (04-05.11.87).

\* LEITURA DE FÓSFORO TOTAL INSATISFATÓRIA.

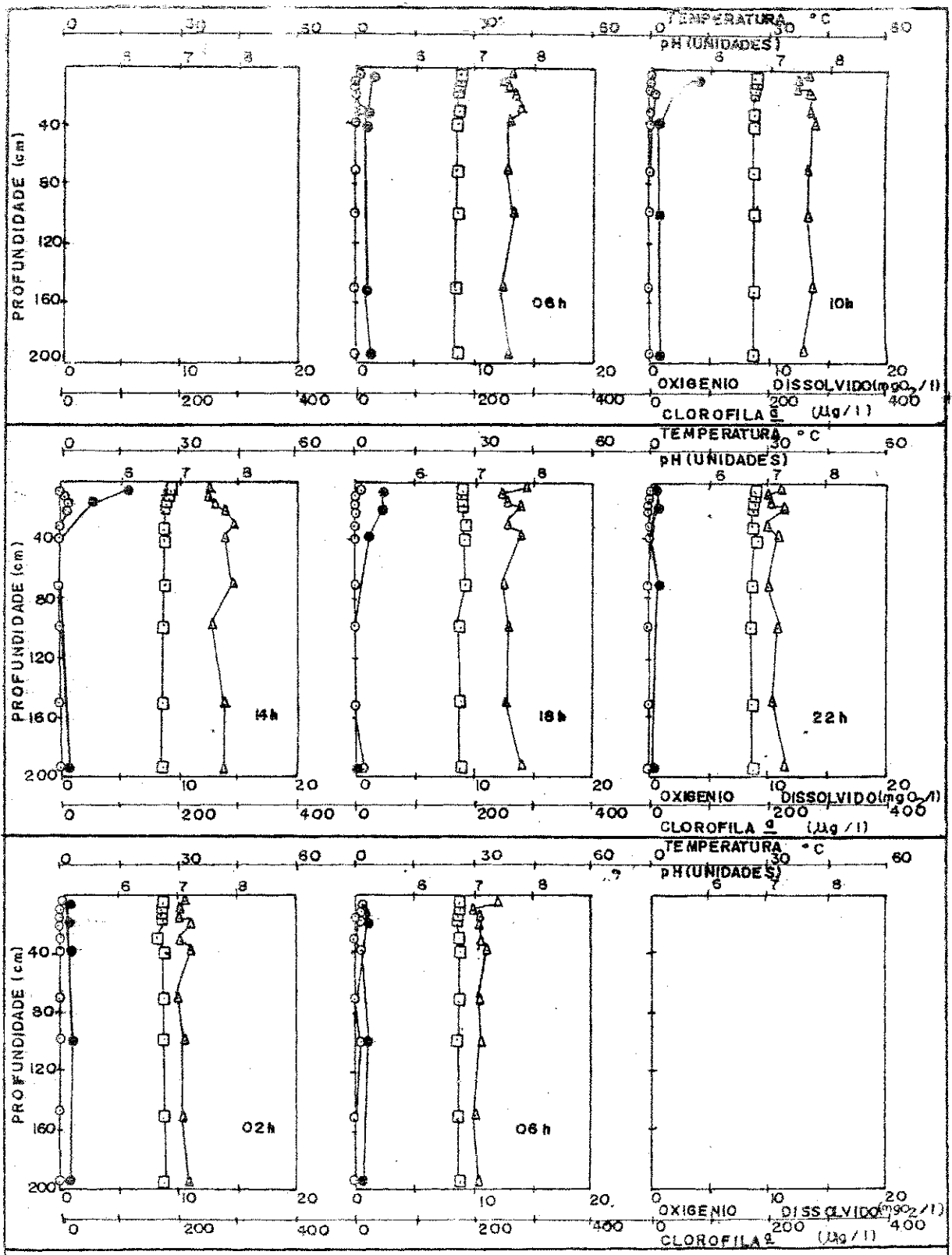


FIG. 4.12 —VARIÇÕES NOS VALORES DE pH(Δ),TEMPERATURA(□)E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a(●)E OXIGÊNIO DISSOLVIDO(O)DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA ANAERÓBIA AT. (04-05.11.87).



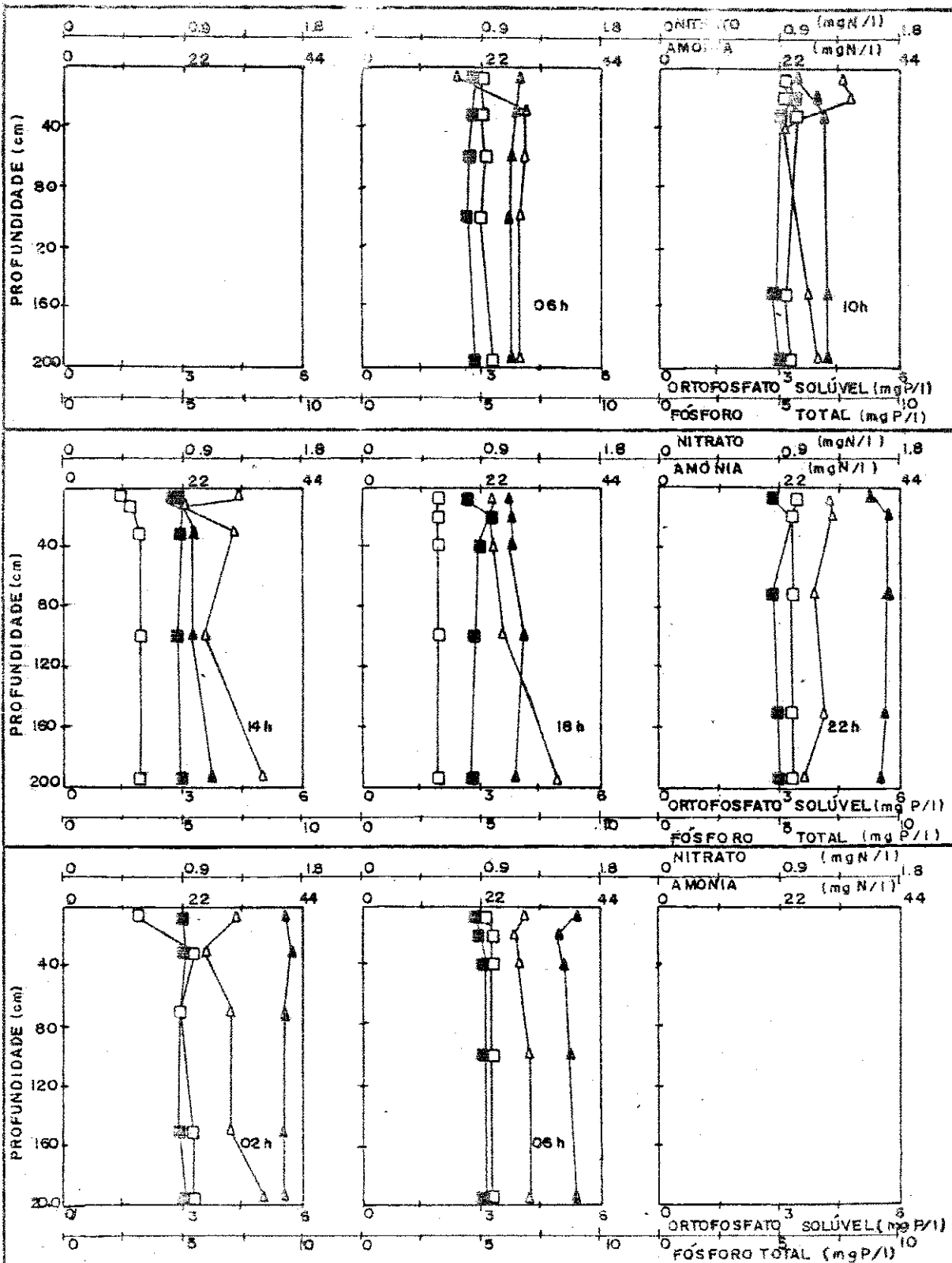


FIG.4.13—VARIACES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO ( $\Delta$ ), AMÔNIA ( $\blacktriangle$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL ( $\square$ ) E FÓSFORO TOTAL ( $\blacksquare$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (27-28.05.87).

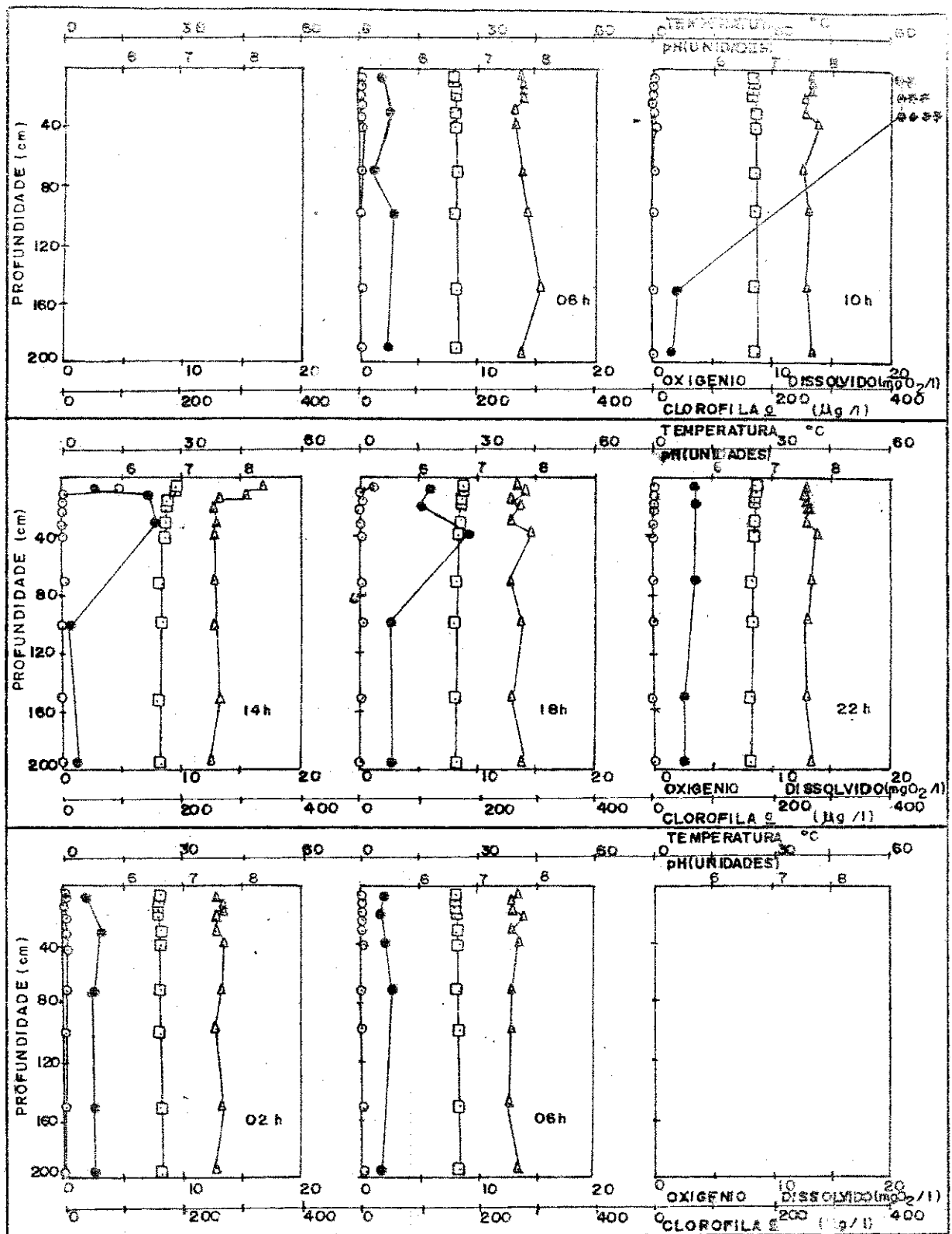


FIG. 4.14—VARIACÕES NOS VALORES DE pH (Δ) TEMPERATURA (□) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (●) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (○) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (27-28.05.87).

\*LEIA - SE 703.2 μg/l \* \* 2500.9 μg/l \* \* \* 2730.2 μg/l

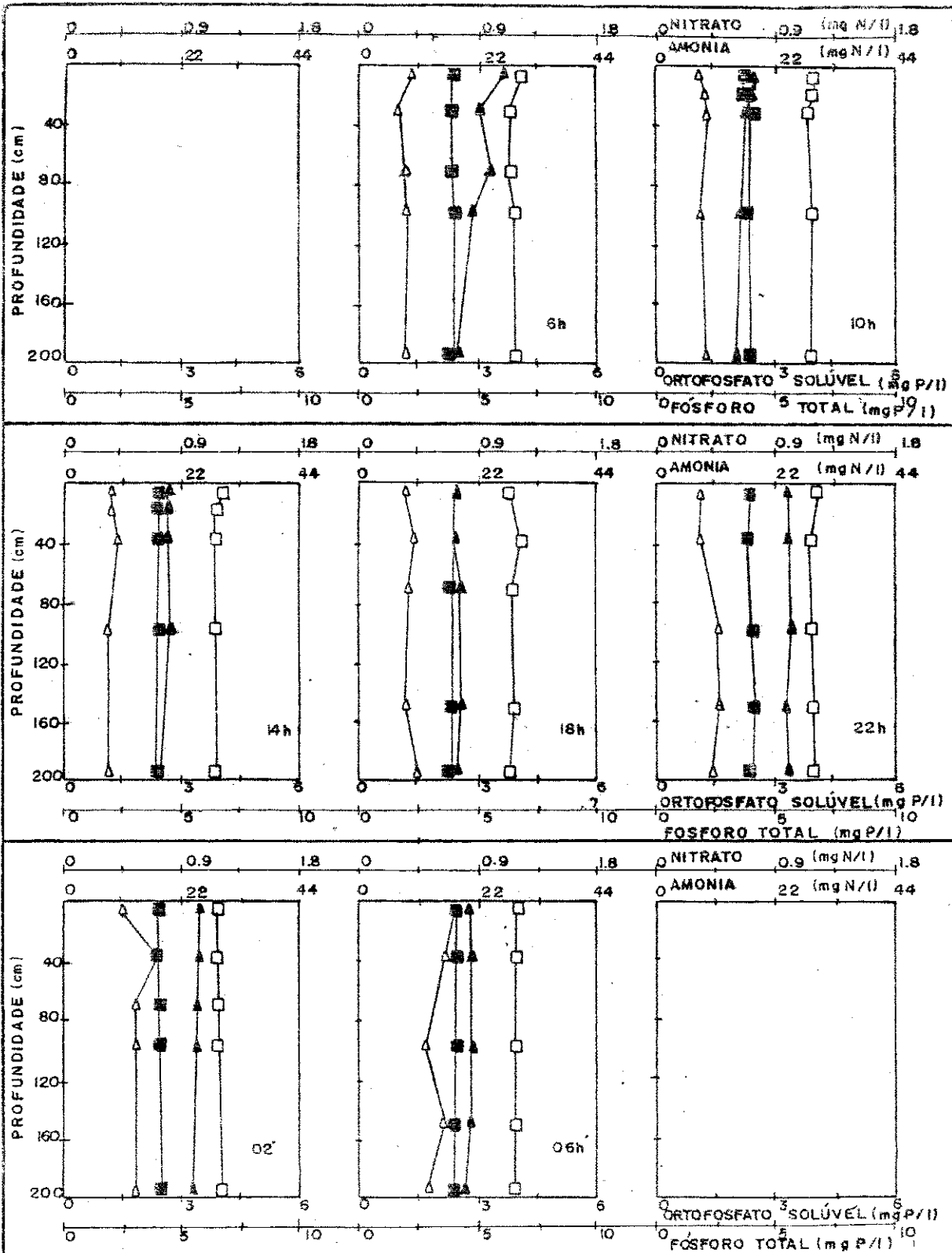


FIG. 4.15—VARIÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO ( $\Delta$ ), AMONIA ( $\blacktriangle$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL ( $\square$ ) E FÓSFORO TOTAL ( $\blacksquare$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>0</sub> (03-04.06.87).

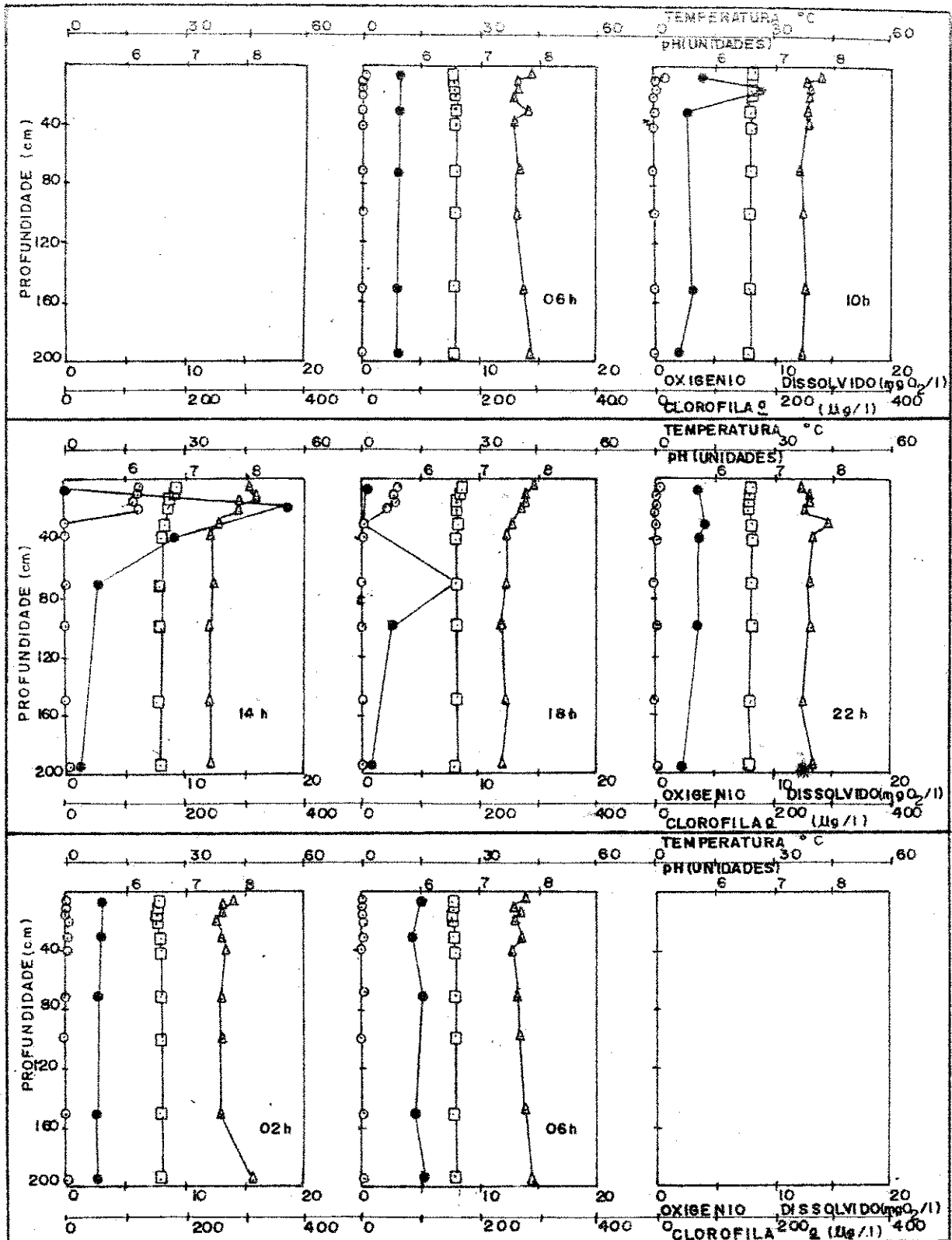


FIG. 4.16 - VARIACÖES NOS VALORES DE pH ( $\Delta$ ), TEMPERATURA ( $\square$ ) E NAS CONCENTRAÇÖES DE CLOROFILA  $a$  ( $\bullet$ ) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO ( $\circ$ ) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (03-04.06.87).

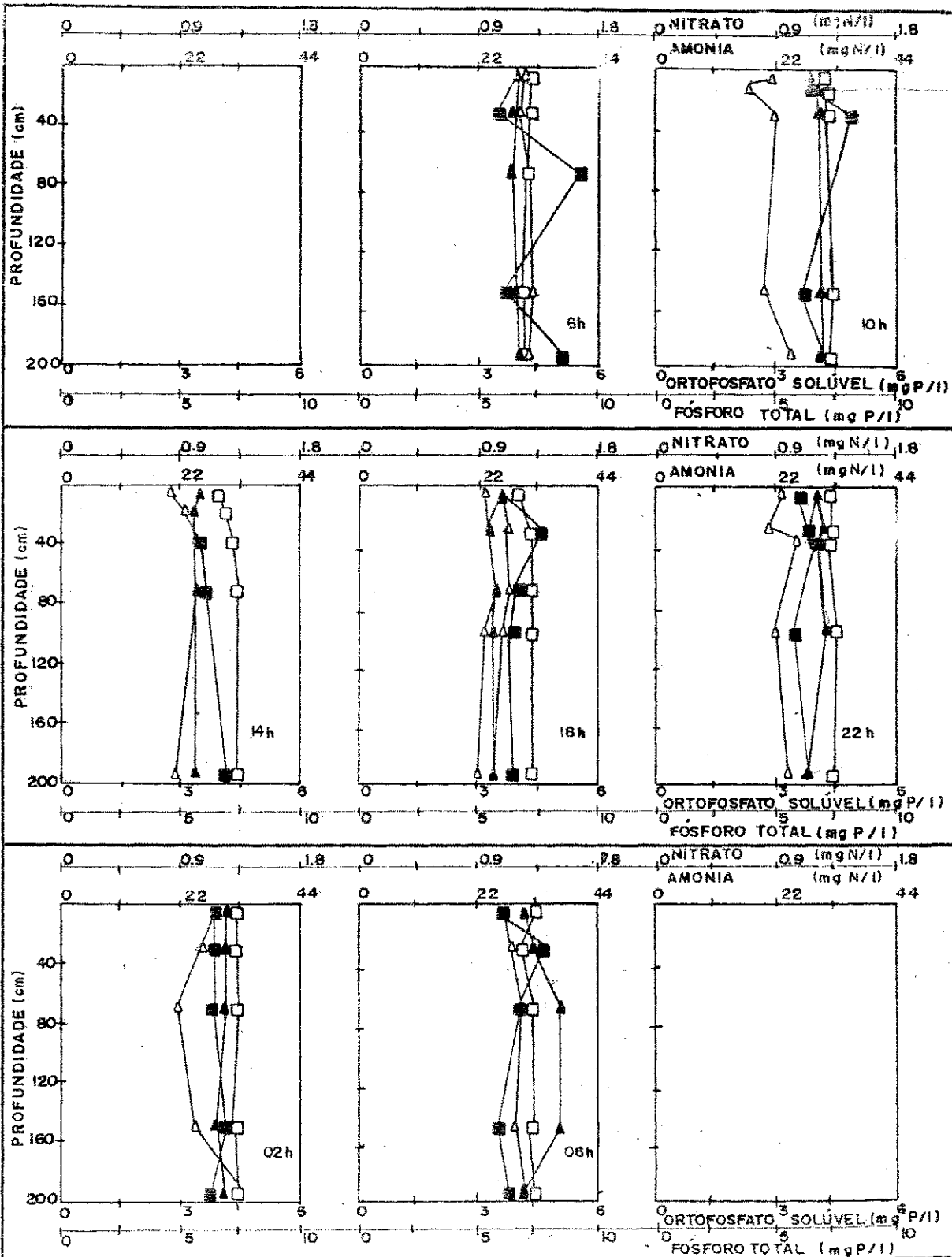


FIG. 4.17- VARIACÖES NAS CONCENTRAÇÖES DE NITRATO (Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (12-13.08.87)

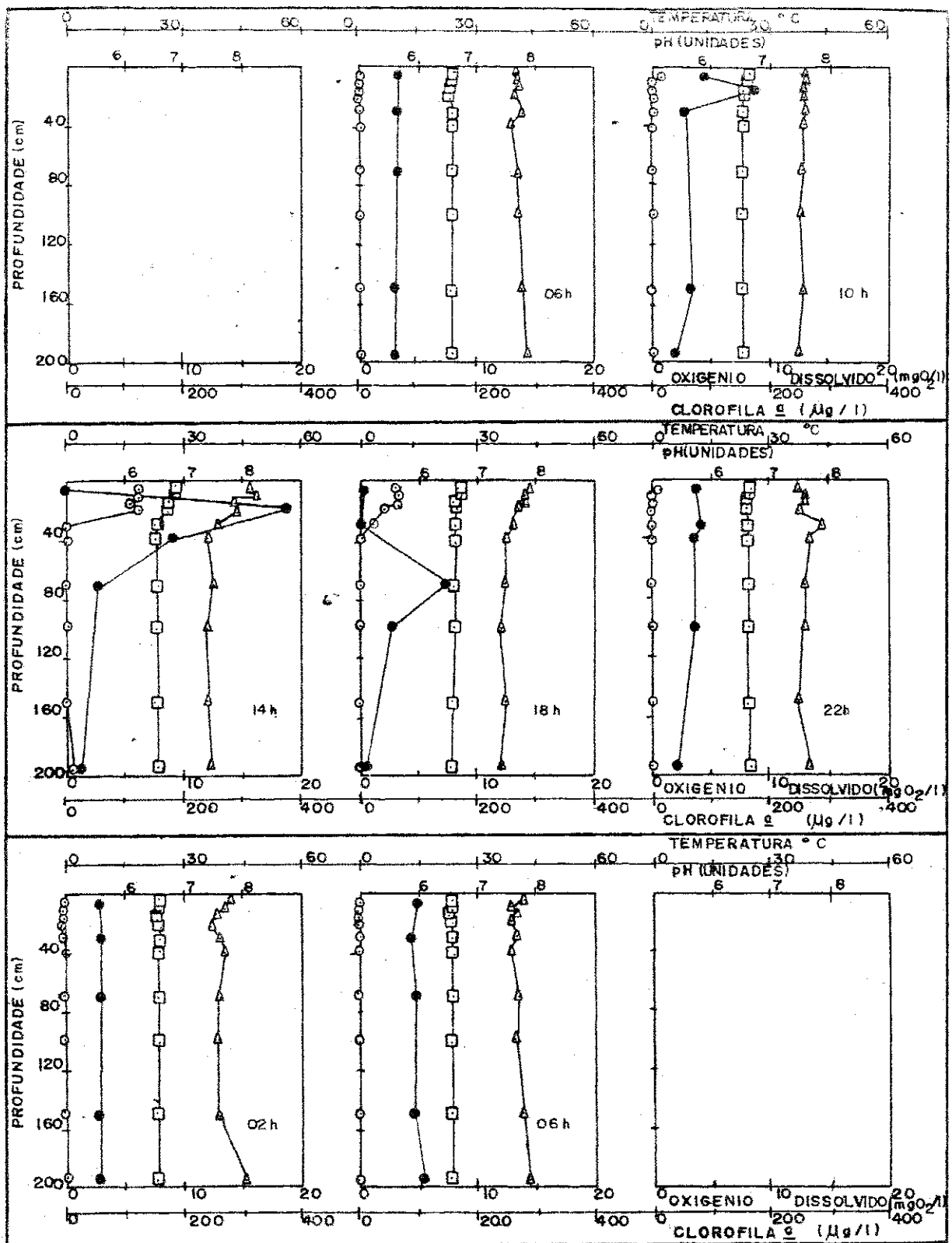


FIG. 4.18- VARIACÖES NOS VALORES DE pH ( $\Delta$ ), TEMPERATURA ( $\square$ ), E NAS CONCENTRAÇÖES DE CLOROFILA  $a$  ( $\bullet$ ) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO ( $\circ$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (12-13.08.87).

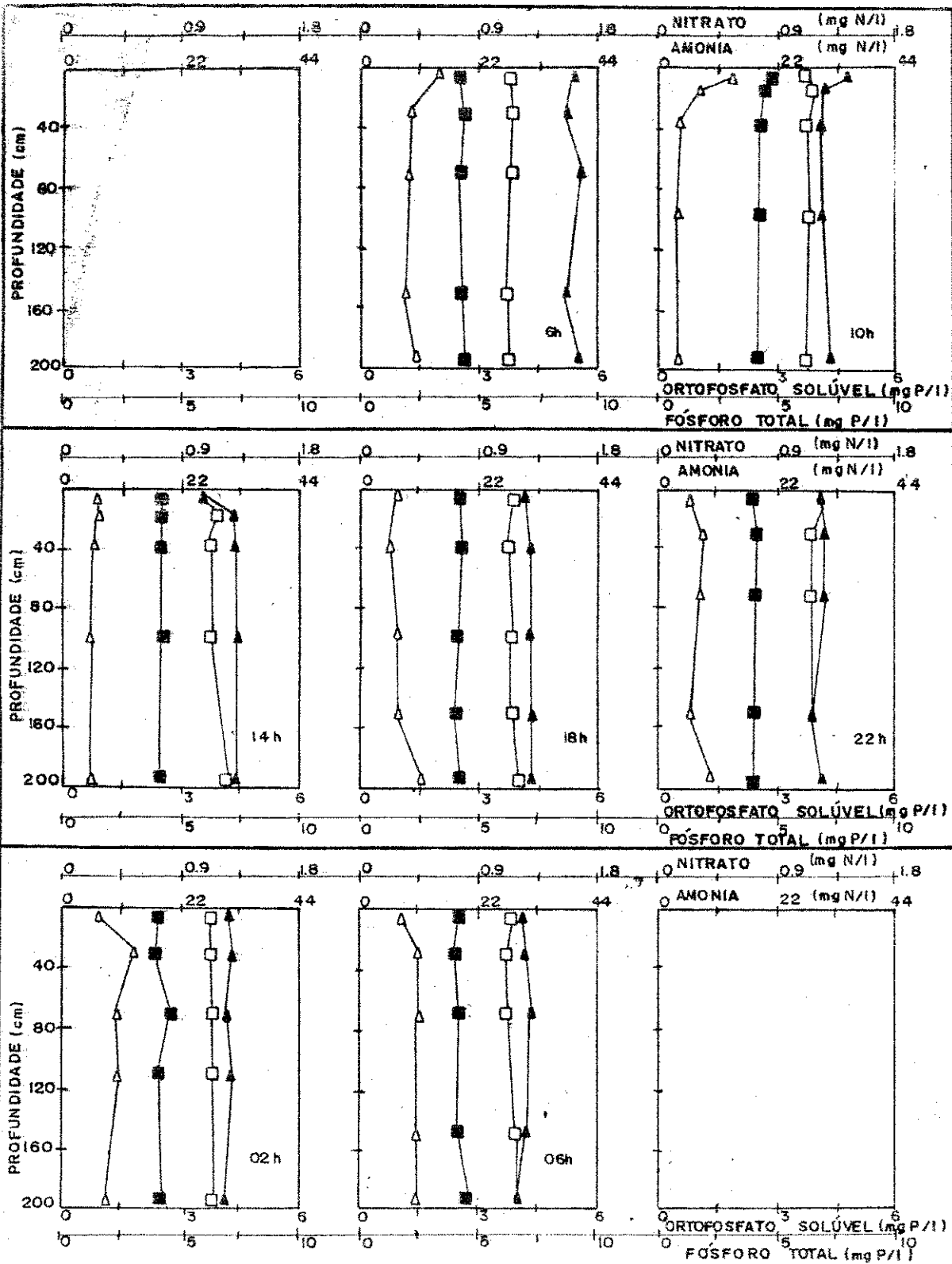


FIG. 4.19 - VARIACES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (▲), AMONIA (△), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (19-20.08.87).

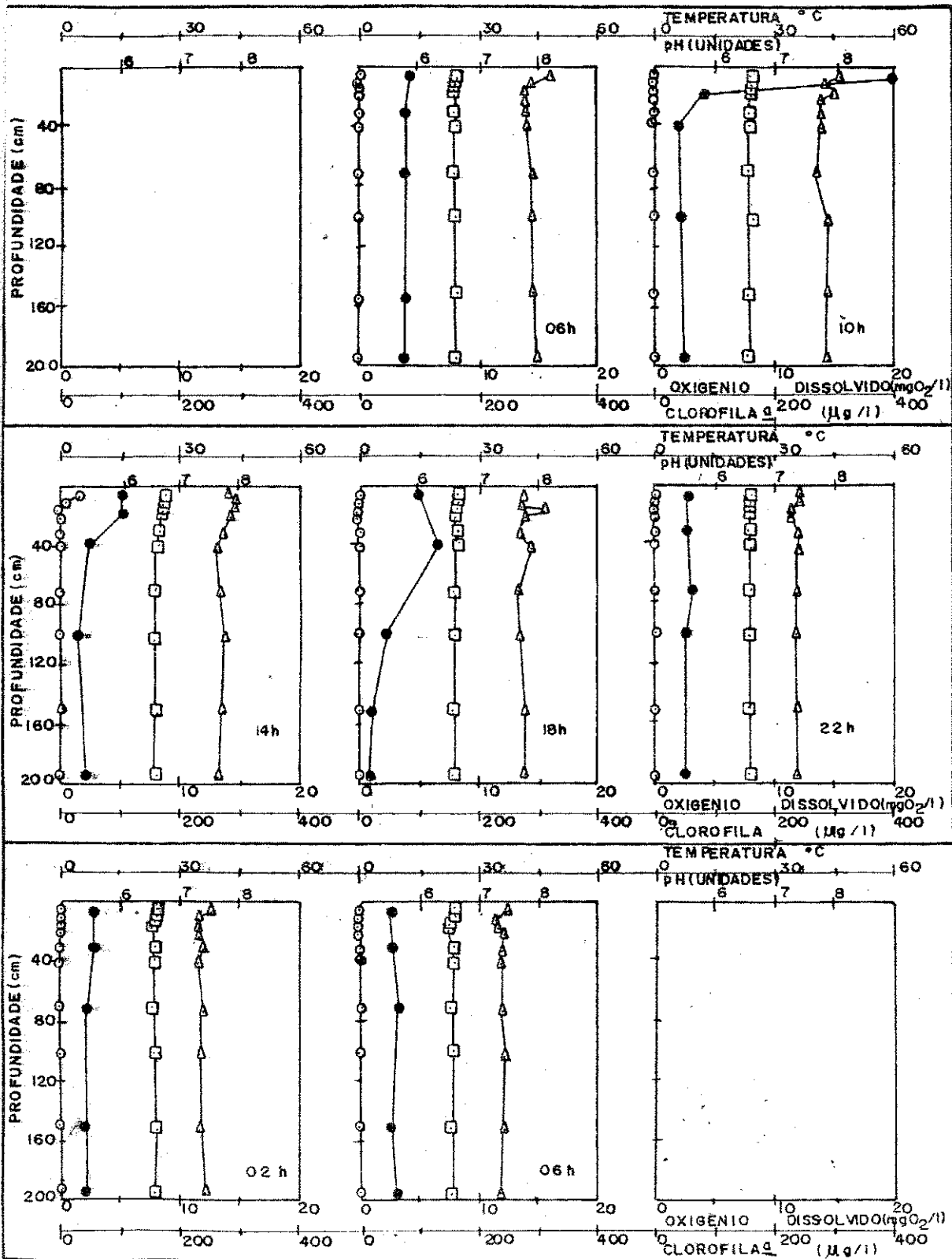


FIG.4.20--VARIACÖES NOS VALORES DE pH( $\Delta$ ), TEMPERATURA( $\square$ )E NAS CONCENTRAÇÖES DE CLO-ROFILA  $\underline{a}$ ( $\bullet$ )E OXIGÊNIO DISSOLVIDO( $\circ$ ) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLU-NA D'ÁGUA DA LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA F<sub>9</sub> (19-20.08.87).



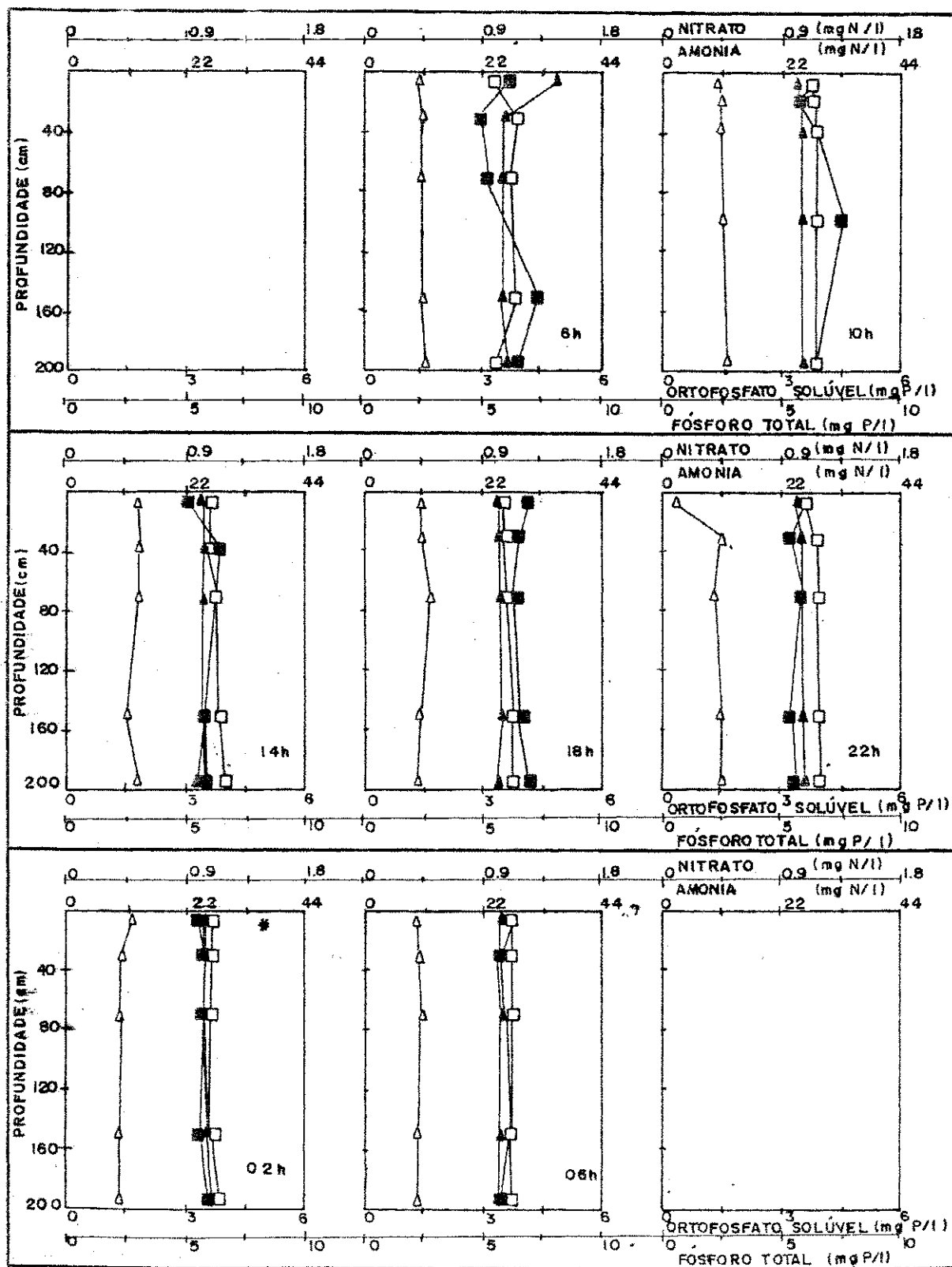


FIG. 4.21 - VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO( $\Delta$ ), AMONIA( $\square$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL( $\square$ ) E FÓSFORO TOTAL( $\blacksquare$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURAÇÃO M-22-23.07.87.

\* ONDE SE LÊ FÓSFORO TOTAL, LEIA-SE AMONIA.

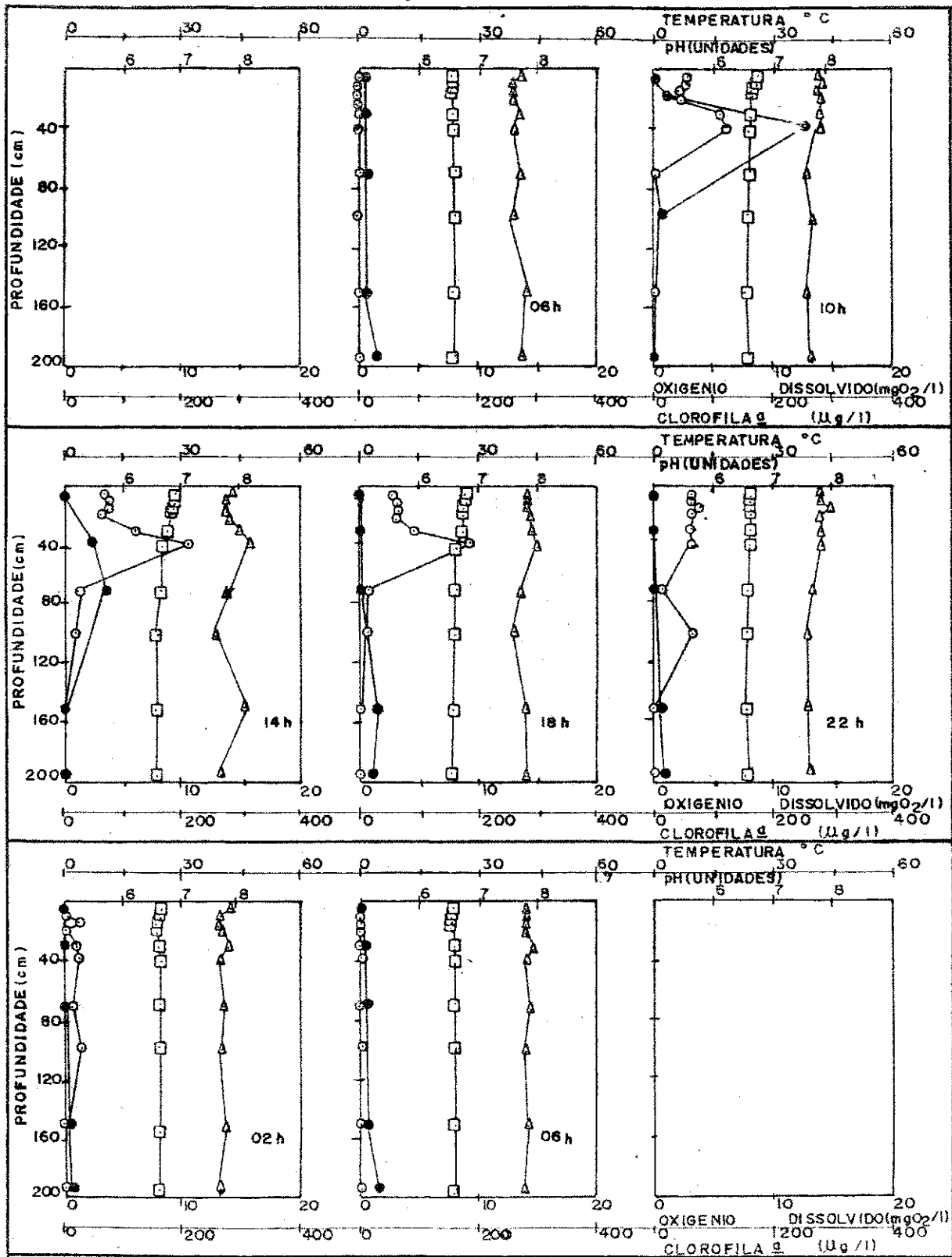


FIG. 4.22 - VARIAÇÕES NOS VALORES DE pH(Δ),TEMPERATURA(□)E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLO-  
ROFILA a (●)E OXIGÊNIO DISSOLVIDO(○)DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLU-  
NA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>7</sub> ( 22 -23.07. 87).

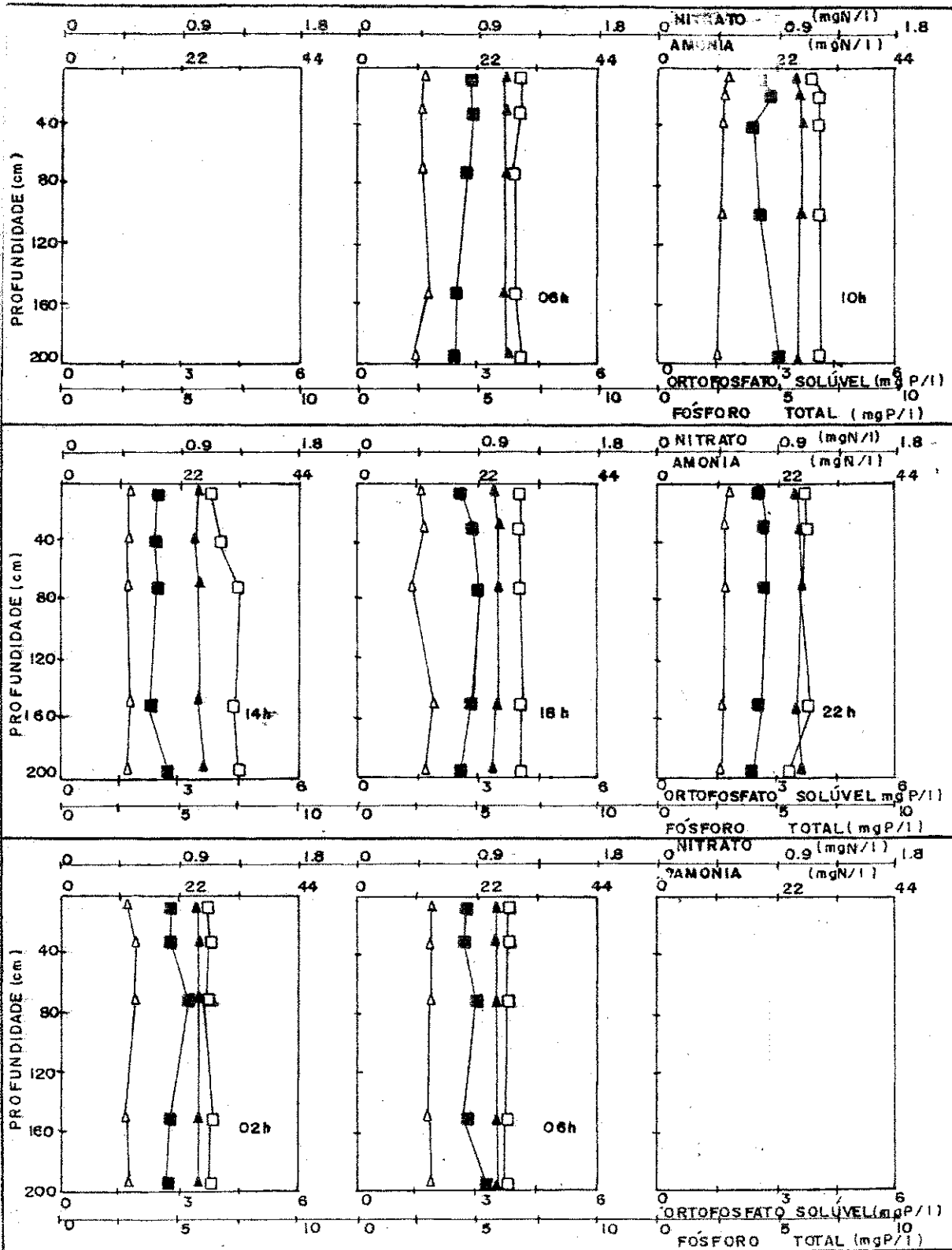


FIG. 4.23—VARIACÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA DE MATURAÇÃO M<sub>7</sub> (29-30.07.87).

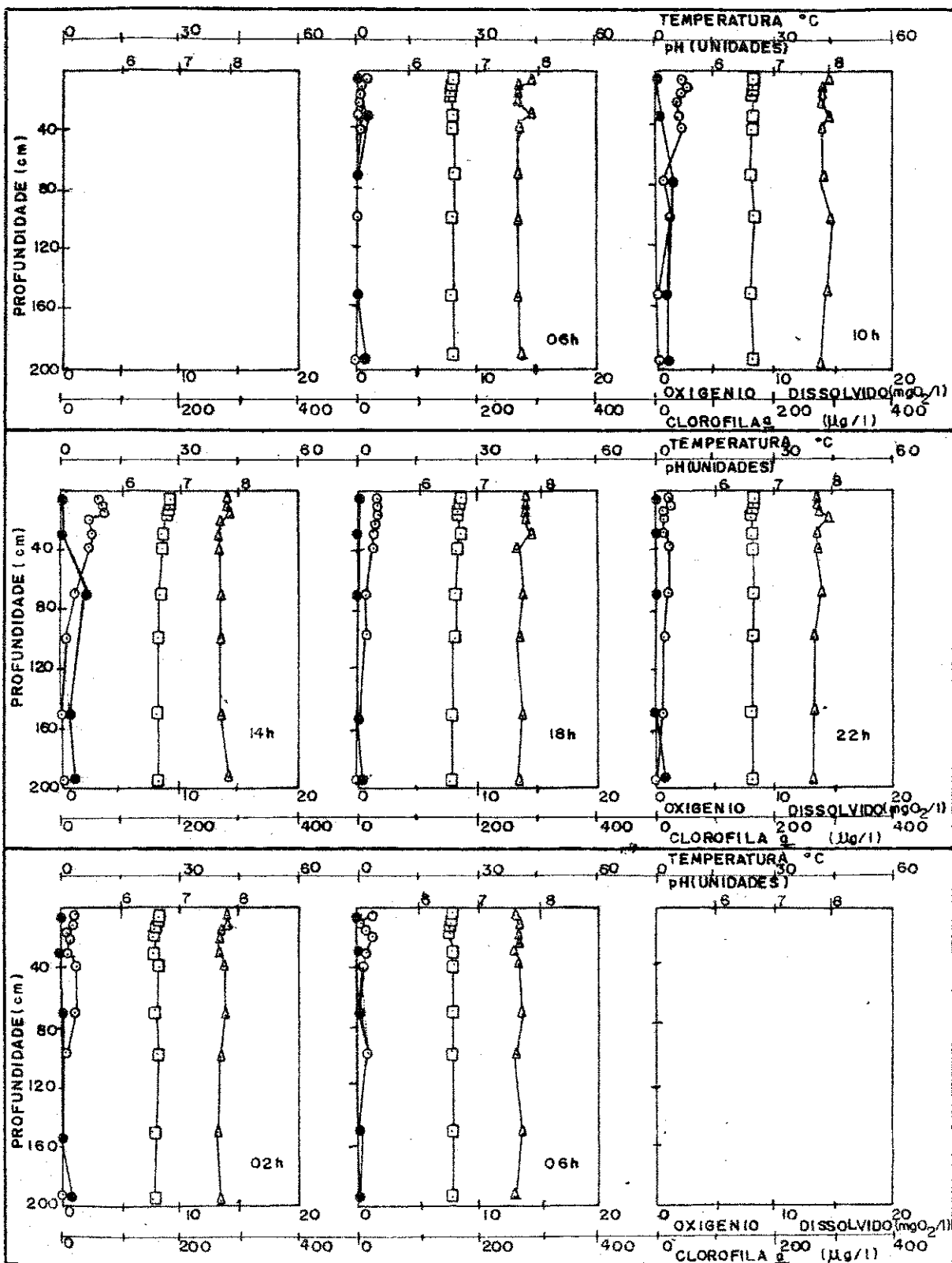


FIG.4.24—VARIÁÇÕES NOS VALORES DE pH( $\Delta$ ), TEMPERATURA ( $\square$ ) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA  $a$  ( $\bullet$ ) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO ( $\circ$ ) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>7</sub> (29-30.07.87).

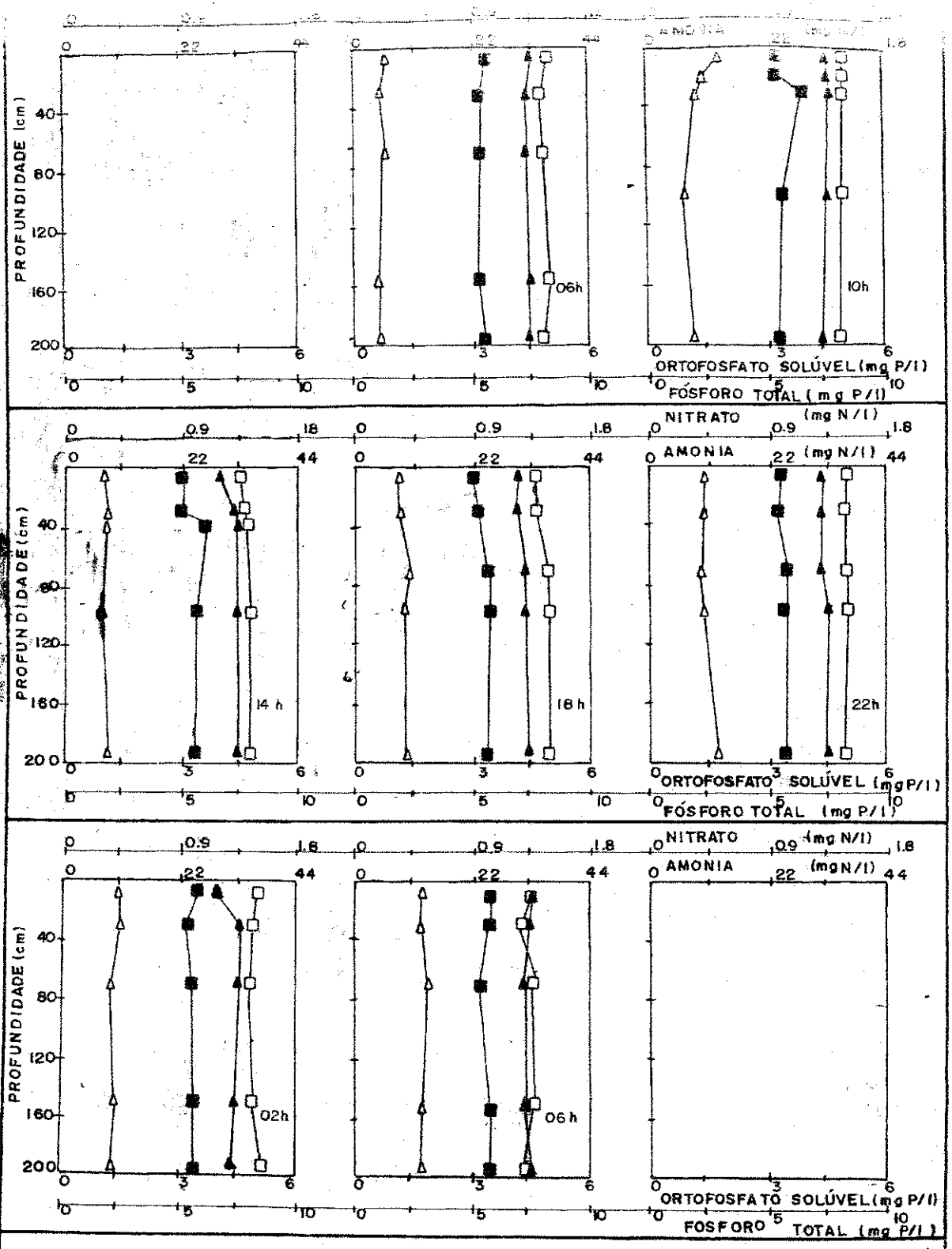


FIG.4.25—VARIACÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (●), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MAMOURAÇÃO M<sub>7</sub> (30.09 E 01.10.87).

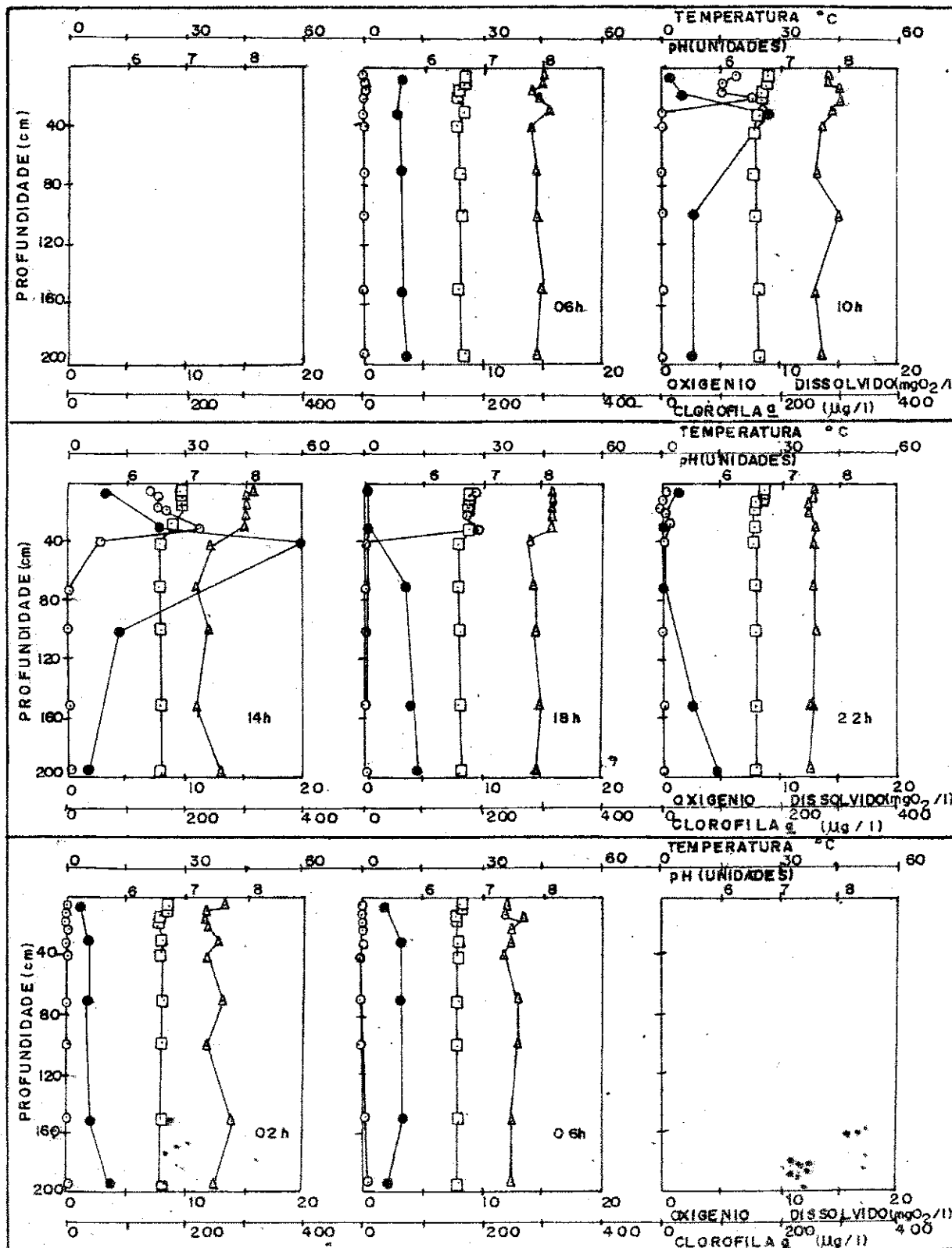


FIG. 4. 26—VARIÇÕES NOS VALORES DE pH(Δ), TEMPERATURA(□) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (●) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (○) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>7</sub> (30.09 - 01.10.87).

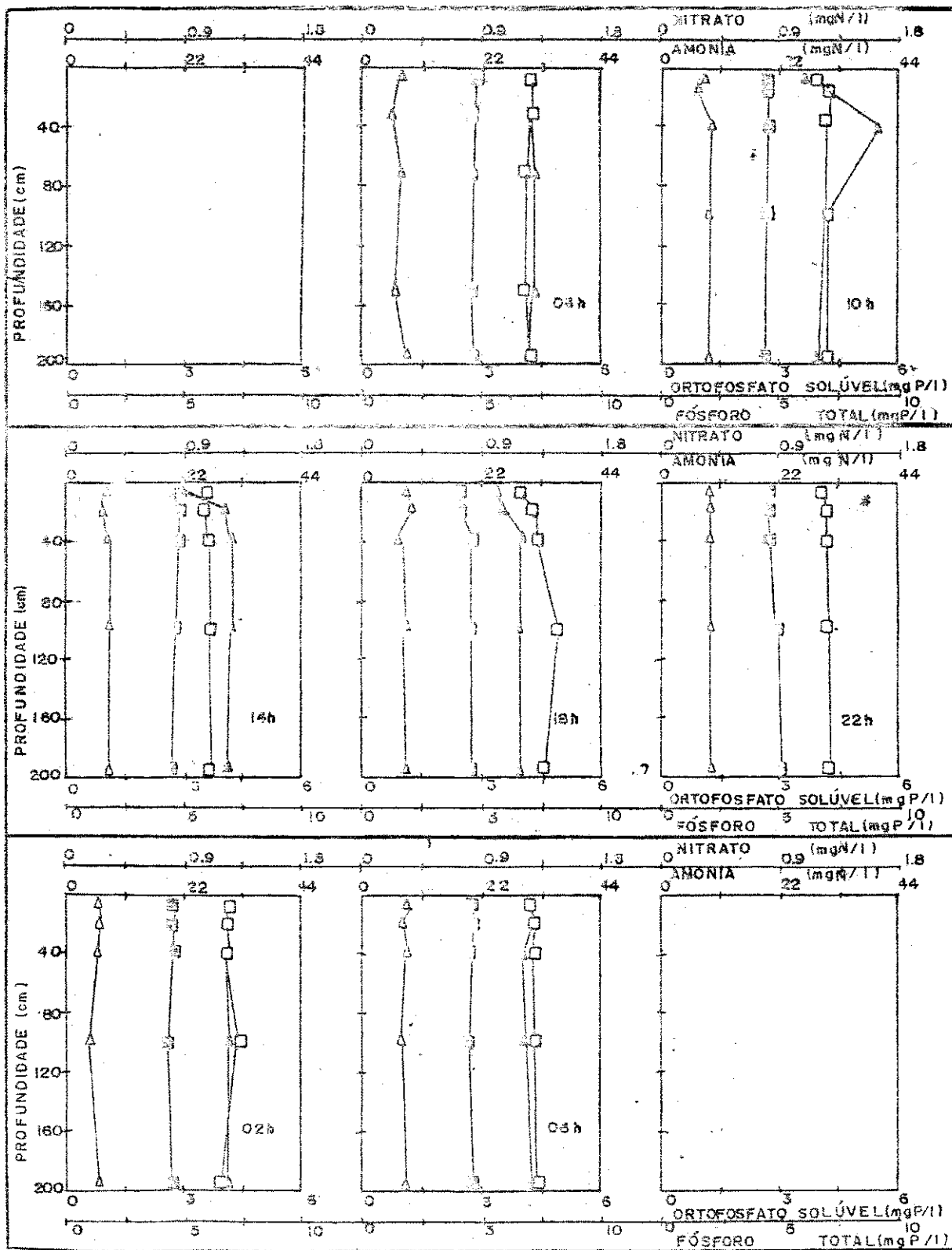


FIG. 4. 27- VARIACÖES NAS CONCENTRAÇÖES DE NITRATO(Δ), AMONIA(▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (○) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA DE MATURACÃO H7 (07-30-10-87).  
 \* ONCE DE 22 HRS-NITRATO, LEIA-SE AMONIA.

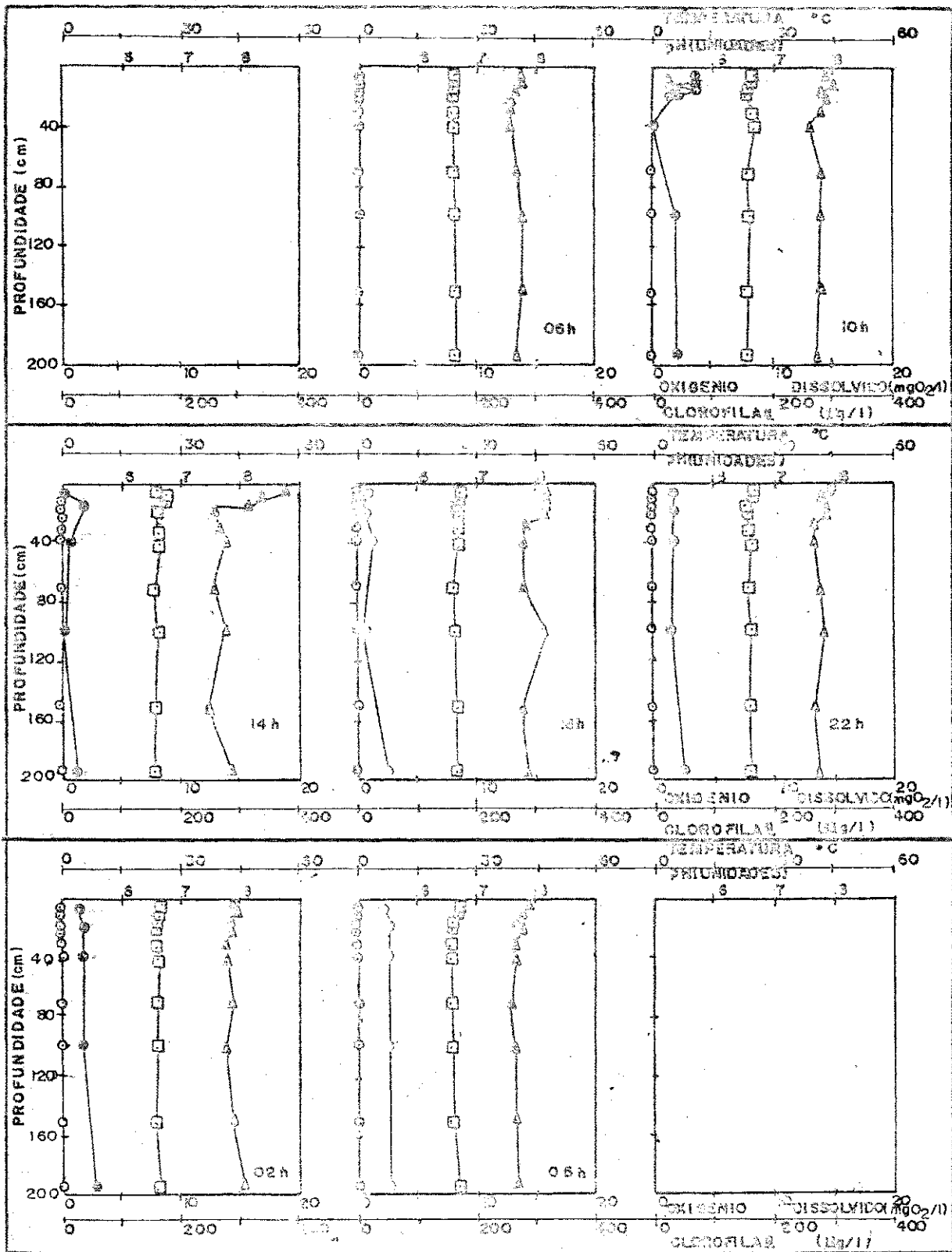


FIG. 4. 28—VARIACÕES NOS VALORES DE pH (Δ), TEMPERATURA (○) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLO-  
ROFILA (□) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (●) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA CO-  
LUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO N<sup>o</sup> 7 (07-08.10.97).



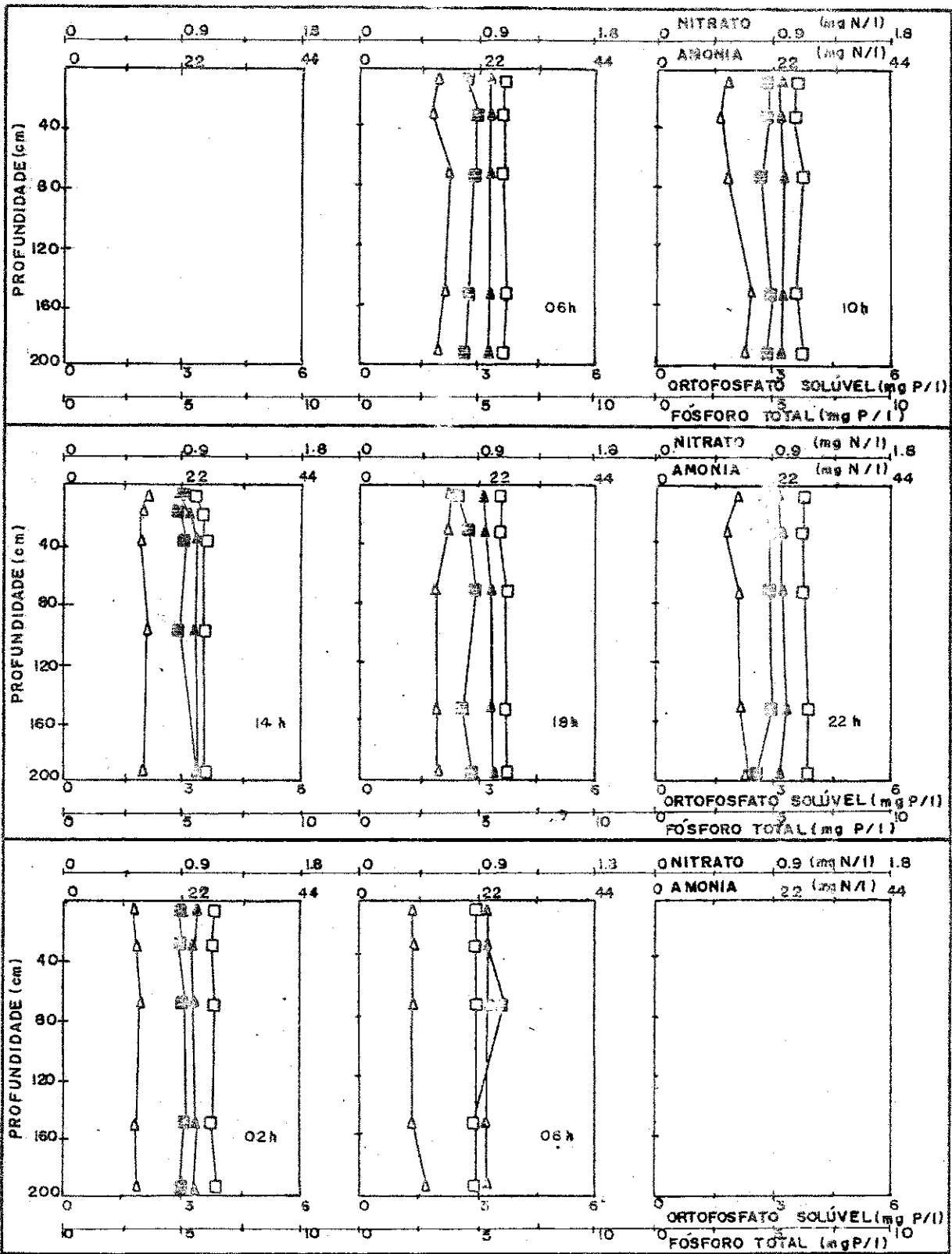


FIG.4.29—VARIÁÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO ( $\Delta$ ), AMONIA ( $\square$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL ( $\circ$ ) E FÓSFORO TOTAL ( $\diamond$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURAÇÃO M<sub>8</sub> (15-16.07.87).

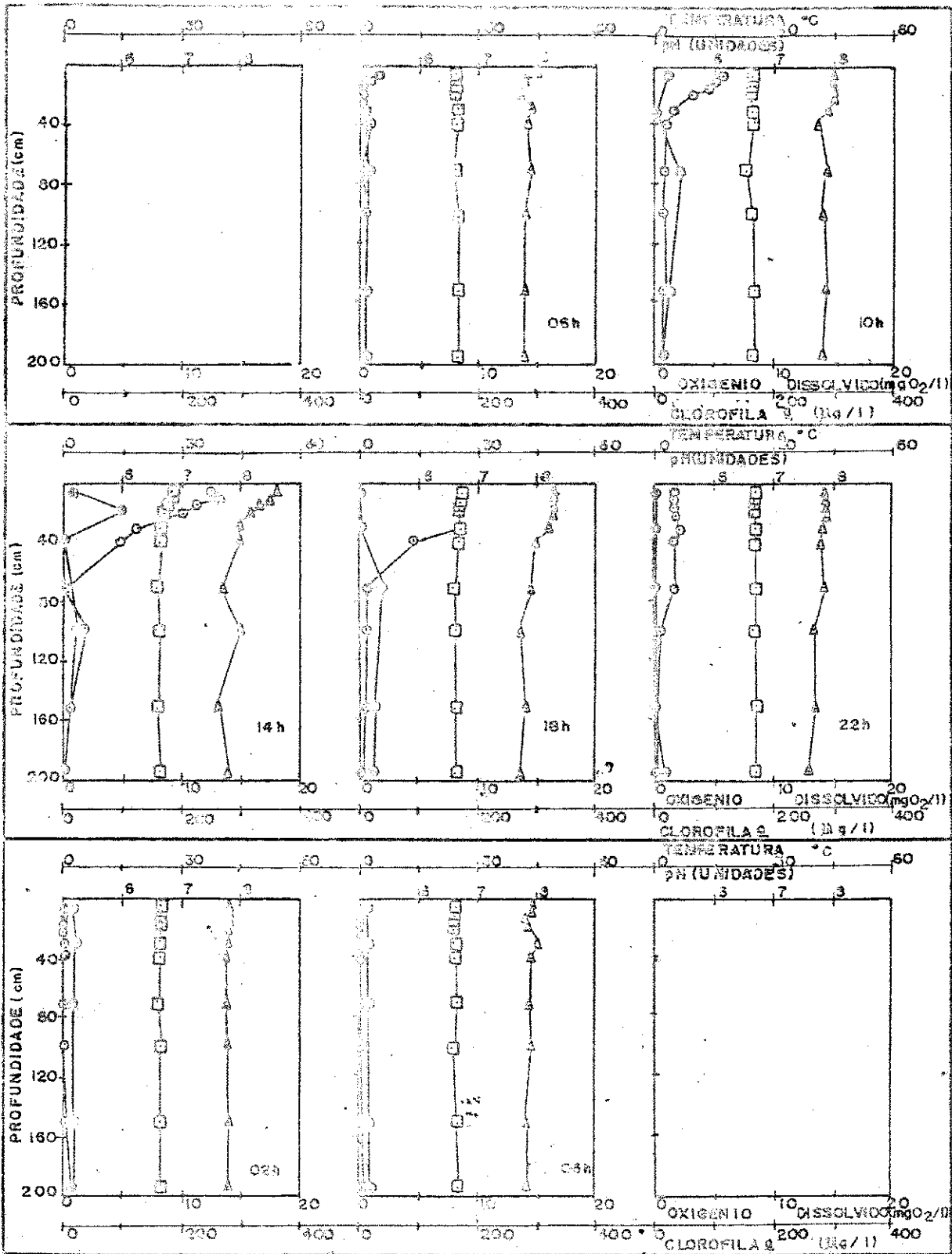


FIG.4.30—VARIACES NOS VALORES DE pH (A), TEMPERATURA (B) E NAS CONCENTRAES DE CLOROFILA a (C) E OXIGENIO DISSOLVIDO (D) DURANTE UM PERIODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE NATURAO 47 (15-16.07.87).

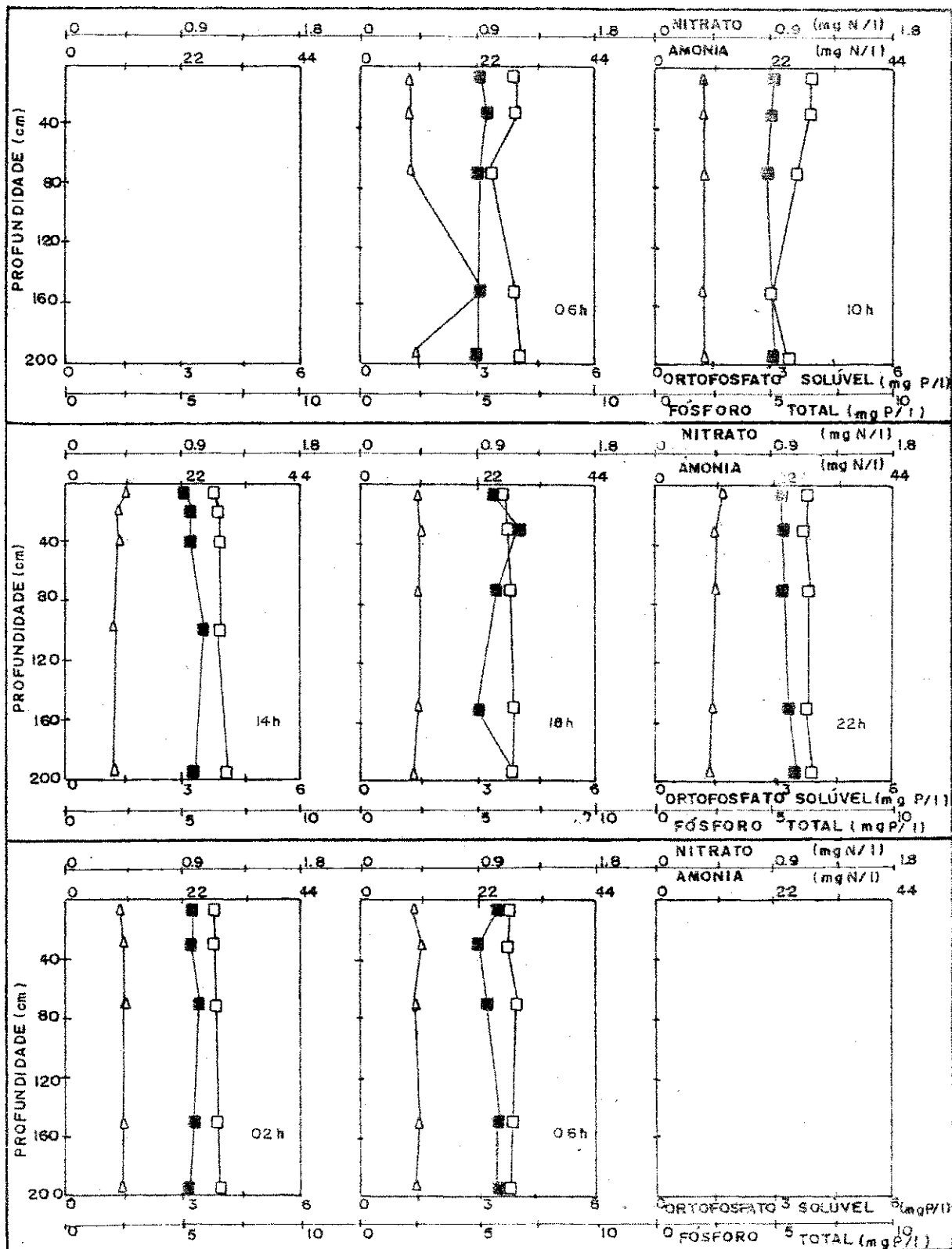


FIG.4.31- VARIACÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>5</sub> (08 - 09.07.67).

\*AS LEITURAS DE AMONIA NÃO FORAM FEITAS (ELETRÓDO COM DEFEITO).

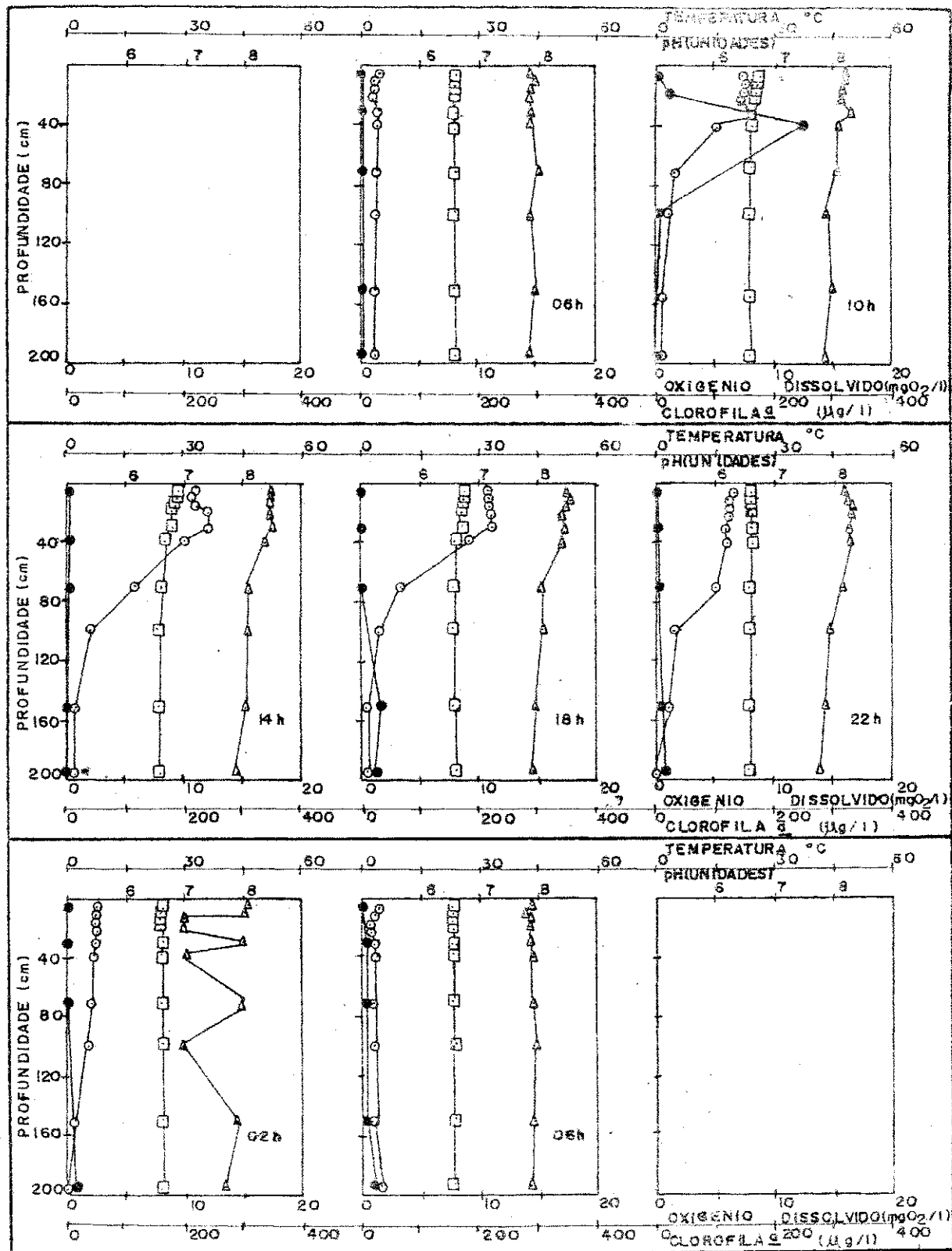


FIG. 4.32-VARIAÇÕES NOS VALORES DE pH(Δ),TEMPERATURA (□) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (●) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO(○) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>2</sub> (06-09.07.87).

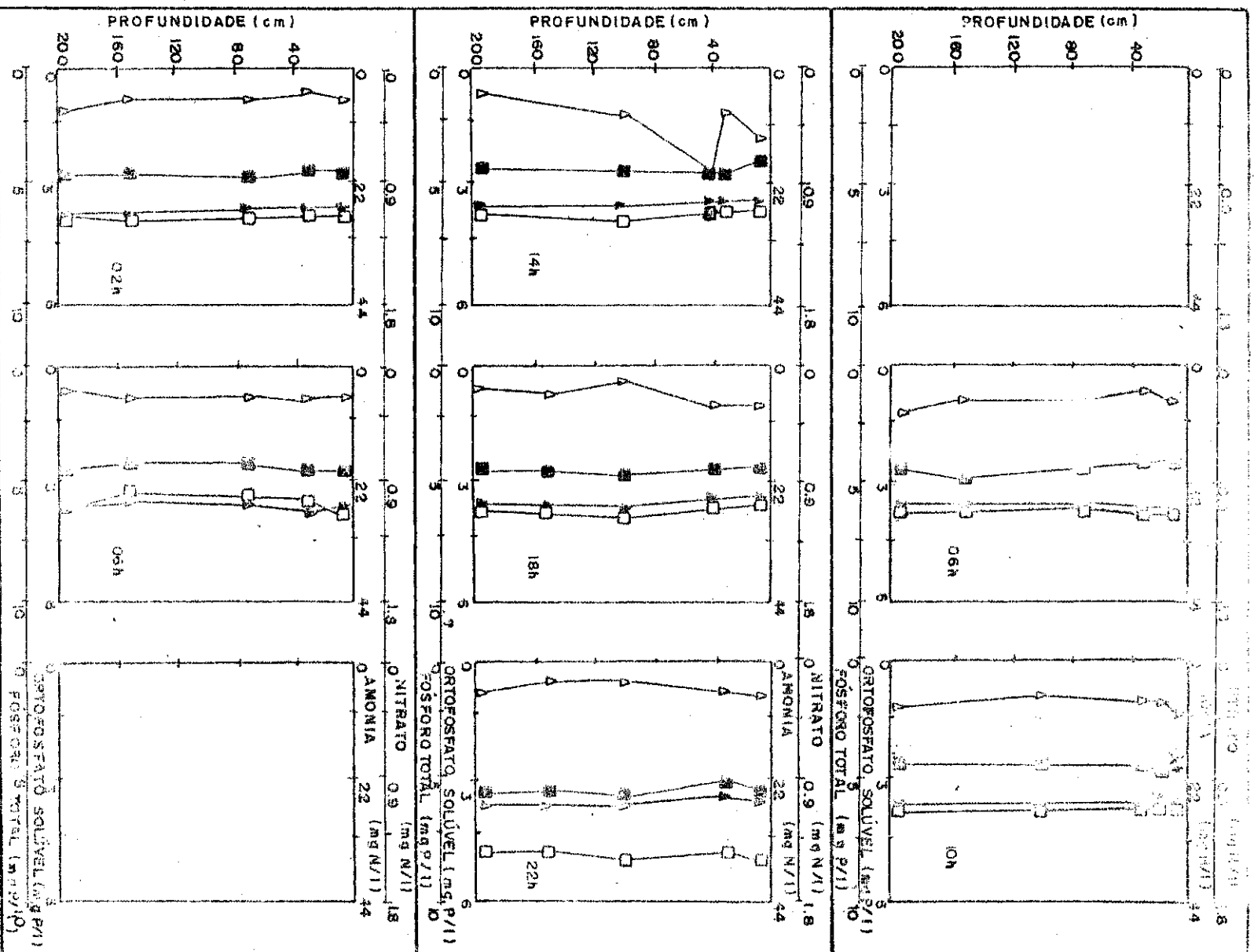


FIG. 4 33-VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO(A), AMÔNIA(A), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (O) E FOSFÓFATO TOTAL (D) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURAGÃO Nº. 15-1709 371.

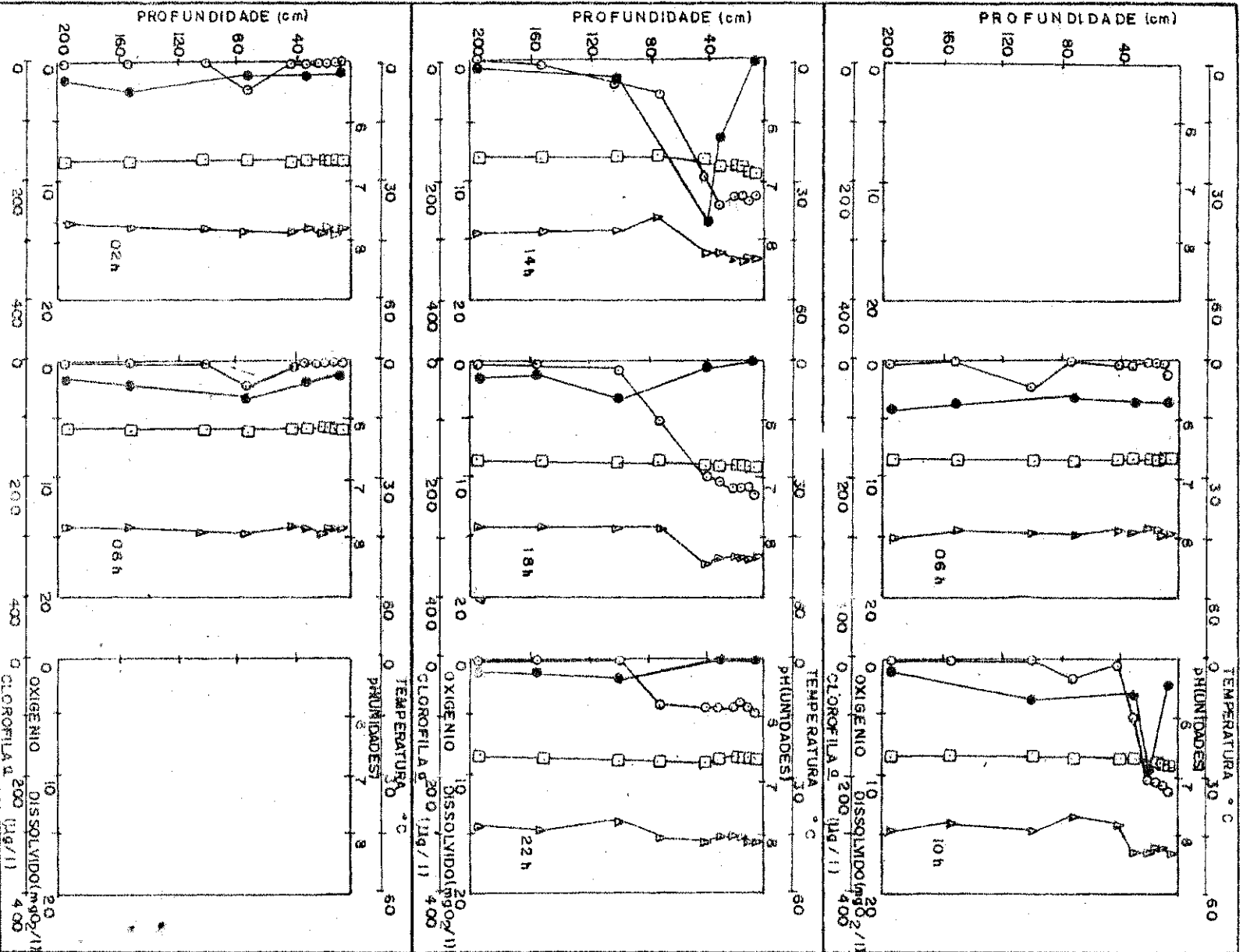


FIG. 4.34—VARIACÖES NOS VALORES DE pH(A), TEMPERATURA(C), E NAS CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO(I) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUMNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATRACÃO 21-2 (15-17.09.87).

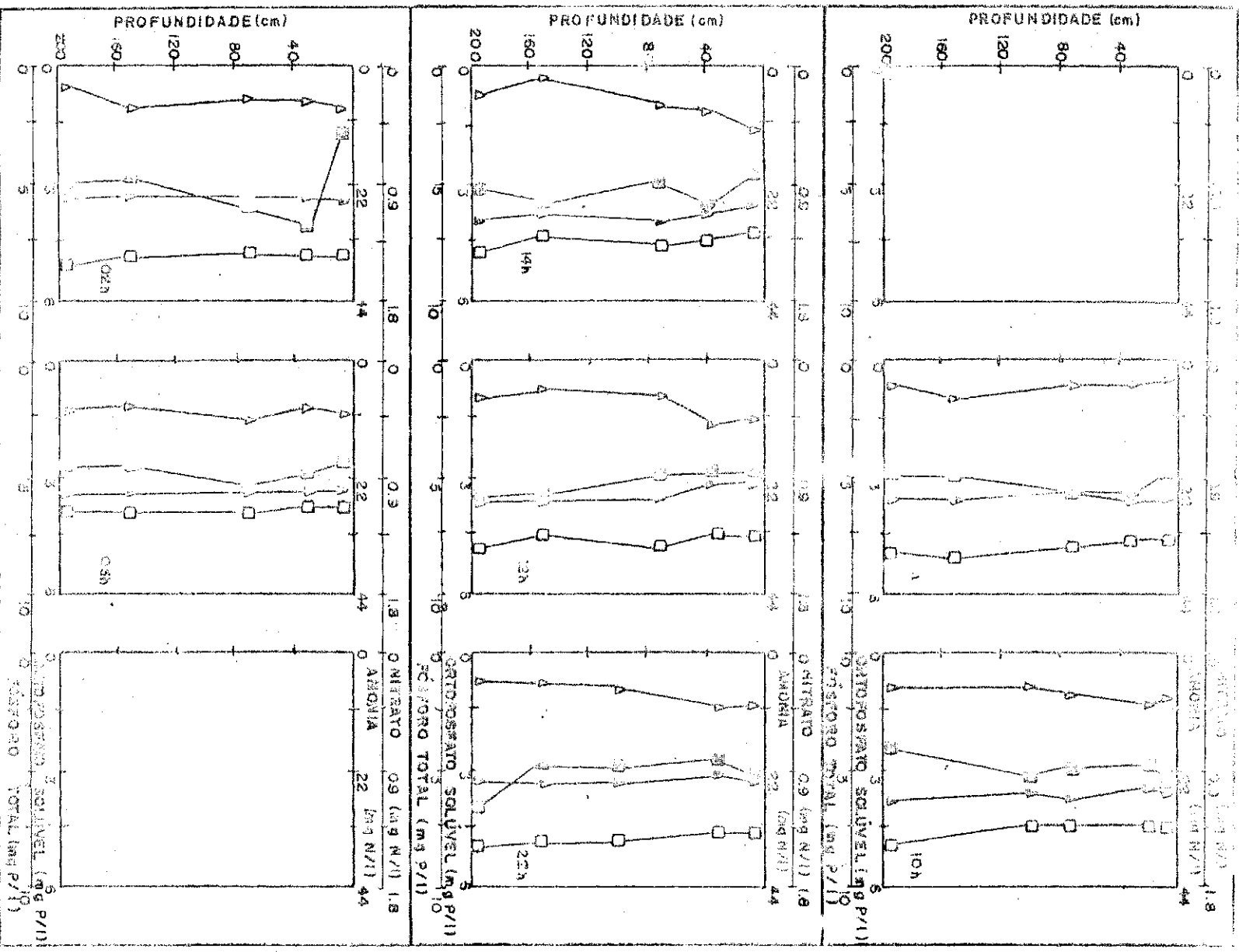
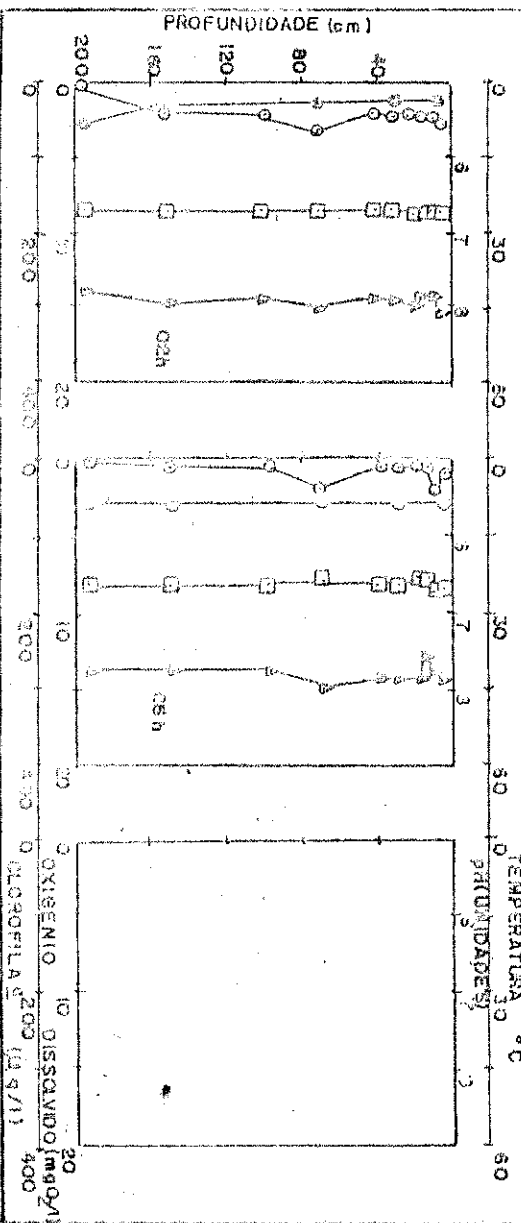
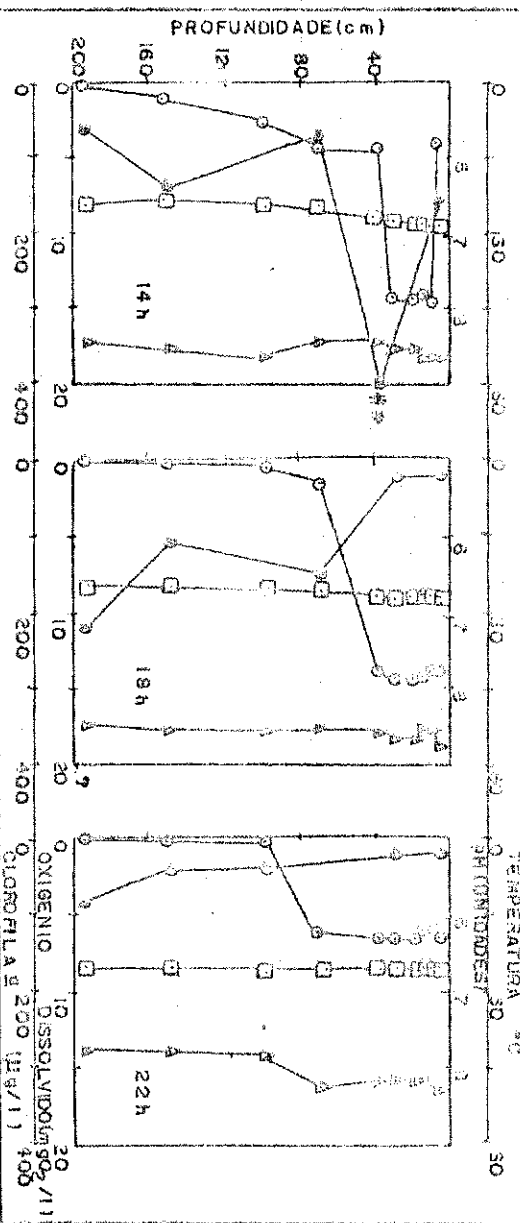
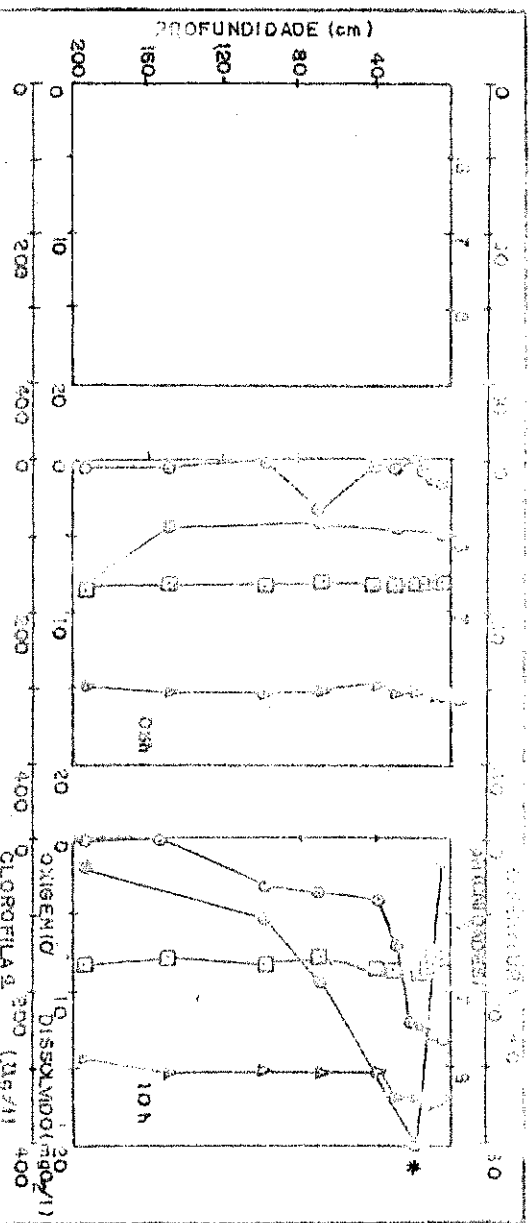


FIG. 4.35 - VARIACOES NAS CONCENTRACOES DE NITRATO(A), AMONIA (O), ORTOFOSFATO SOLUVEL(D) E FOSFORO TOTAL (I) DURANTE UM PERIODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'AGUA DA LAGOA DE VITORIANO N.125-01 (09-07).



F 34.36 - VARIAÇÕES NOS VALORES DE pH (A), TEMPERATURA (B) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (1) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (C) DURANTE O PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA DE ÁGUA DA LAGOA DE MOURA (1973) EM 10-21.05.70.



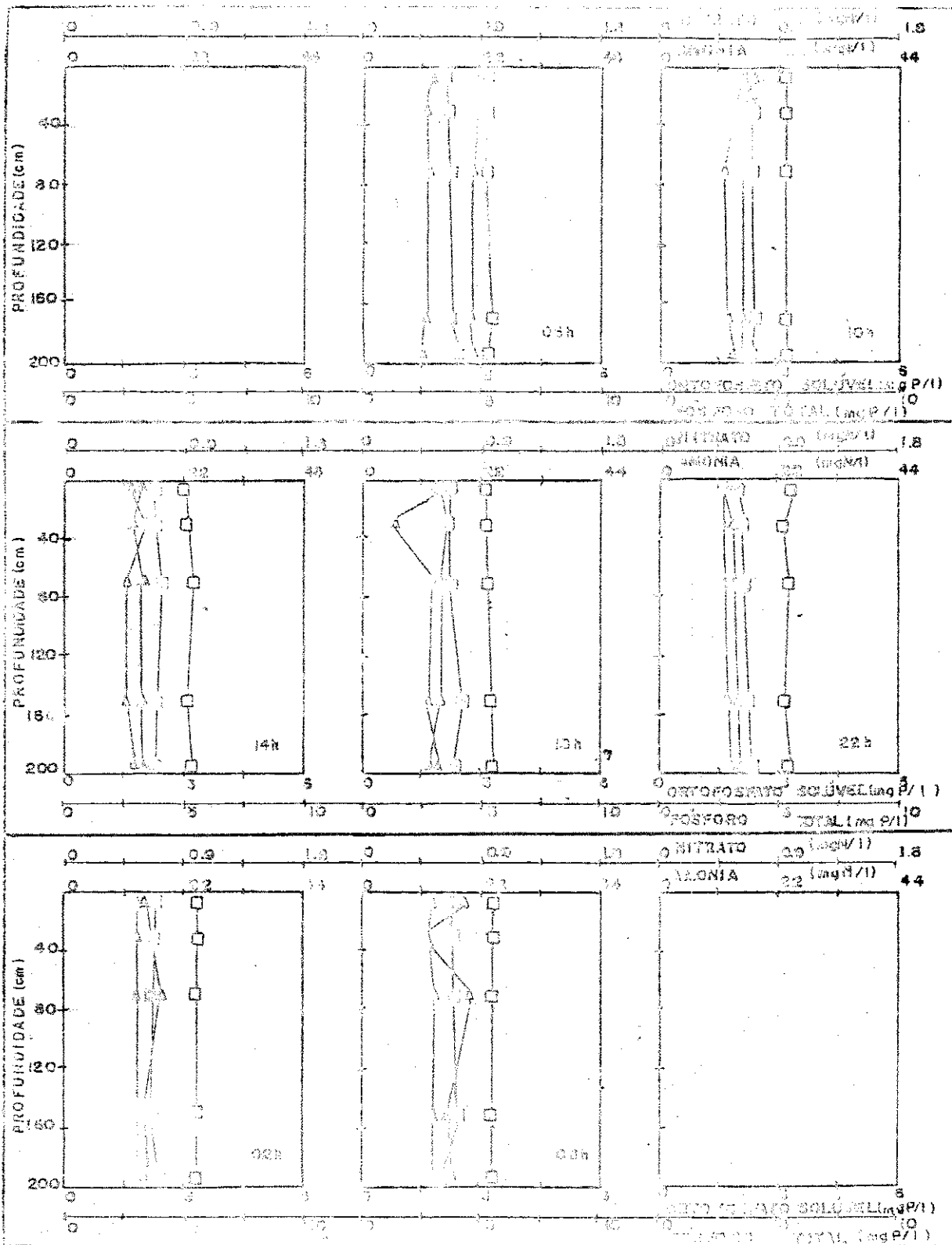


FIG. 4.37—VARIÁOES DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (○), AMÔNIA (△) E FOSFATO SOLÚVEL (□) E FOSFORO TOTAL (○) DURANTE UM PERÍODO DE CÂMBIAS NA LAGUNA DE NATURAÇÃO PÓLVO - 11.03.1971.

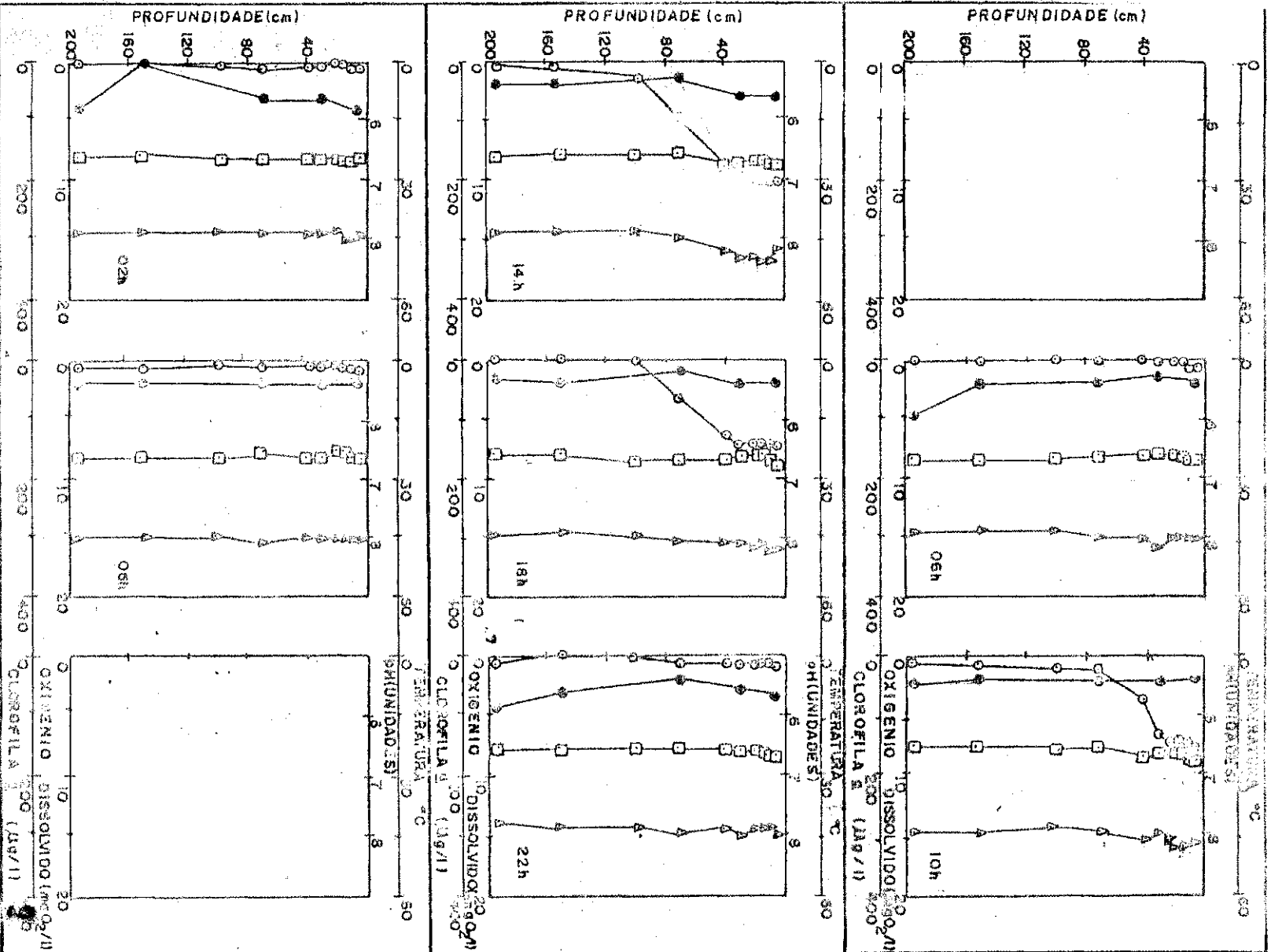


FIG. 4.38 - VARIAÇÕES NOS VALORES DE PH(A), TEMPERATURA E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (µg/l) E OXIGENIO DISSOLVIDO (mg/l) DURANTE UM PERIODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO (R. 110-11.05.177).

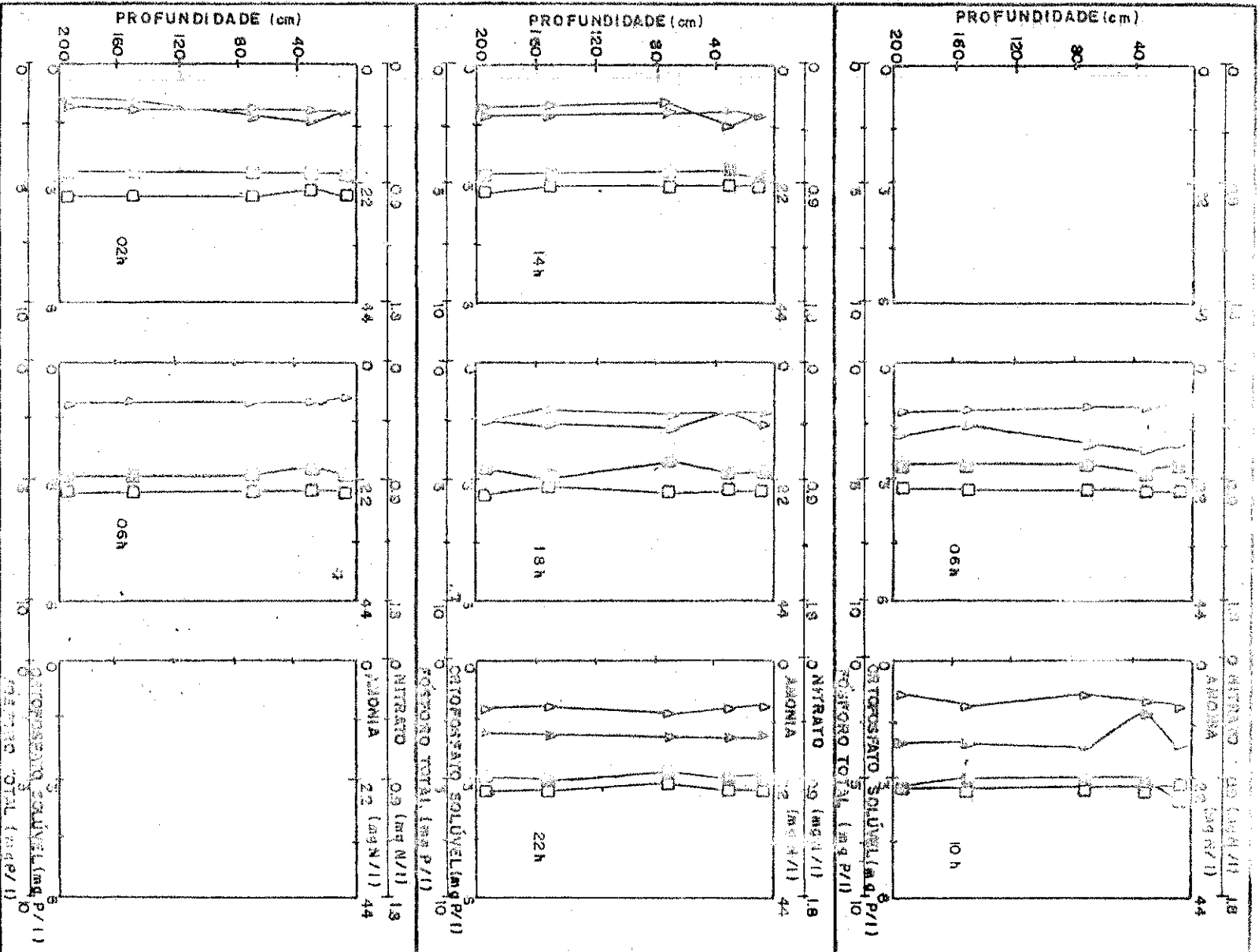


FIG. 3.9 - VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (Δ), AMÔNIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FOSFORO TOTAL (○), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUMNA D'ÁGUA DA LAGOA DE NATURAÇÃO (MIRIM DO SUL).

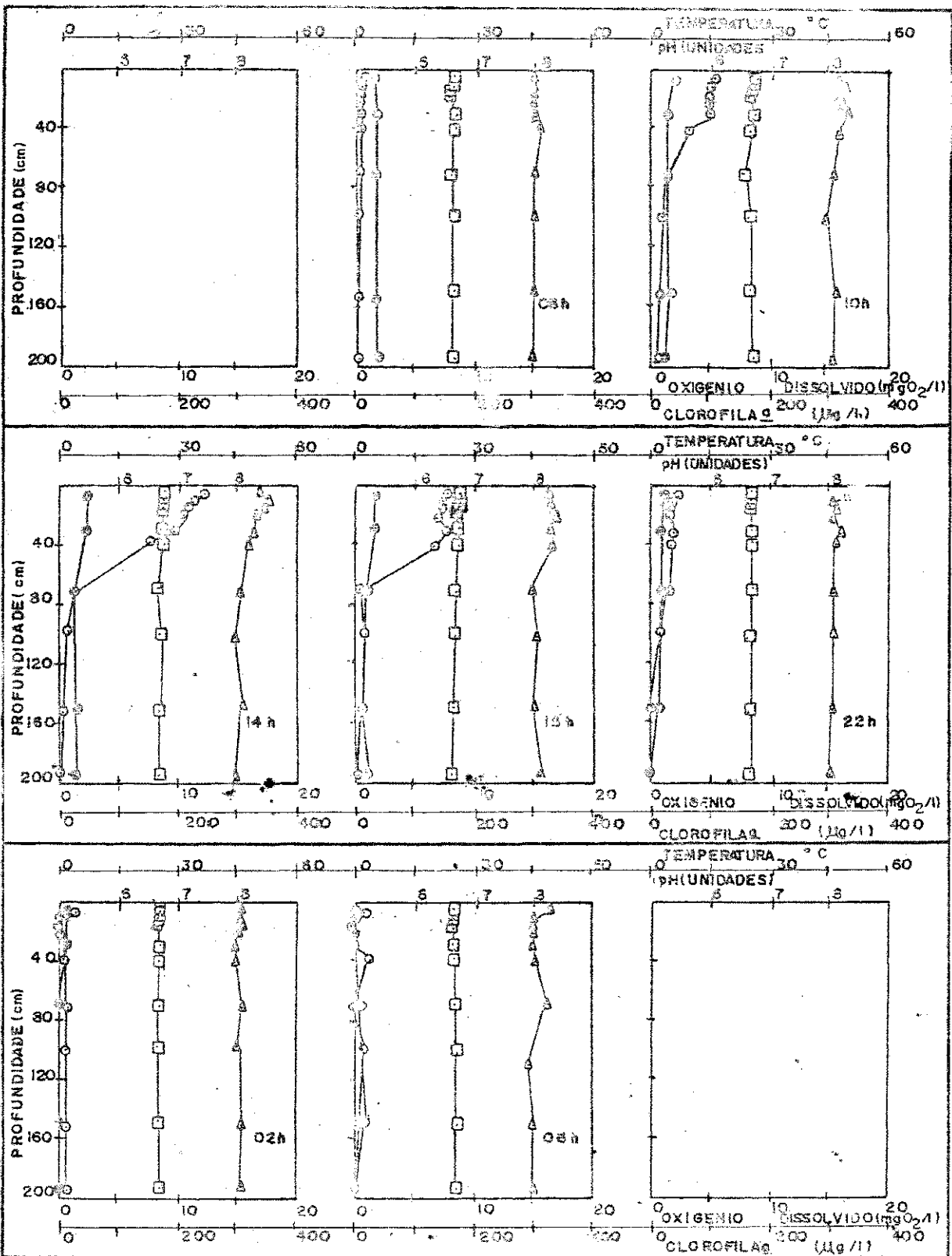


FIG. 4.40 - VARIACÕES NOS VALORES DE pH (Δ), TEMPERATURA (□) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (○) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (◇) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>0</sub> (17-18.06.87).

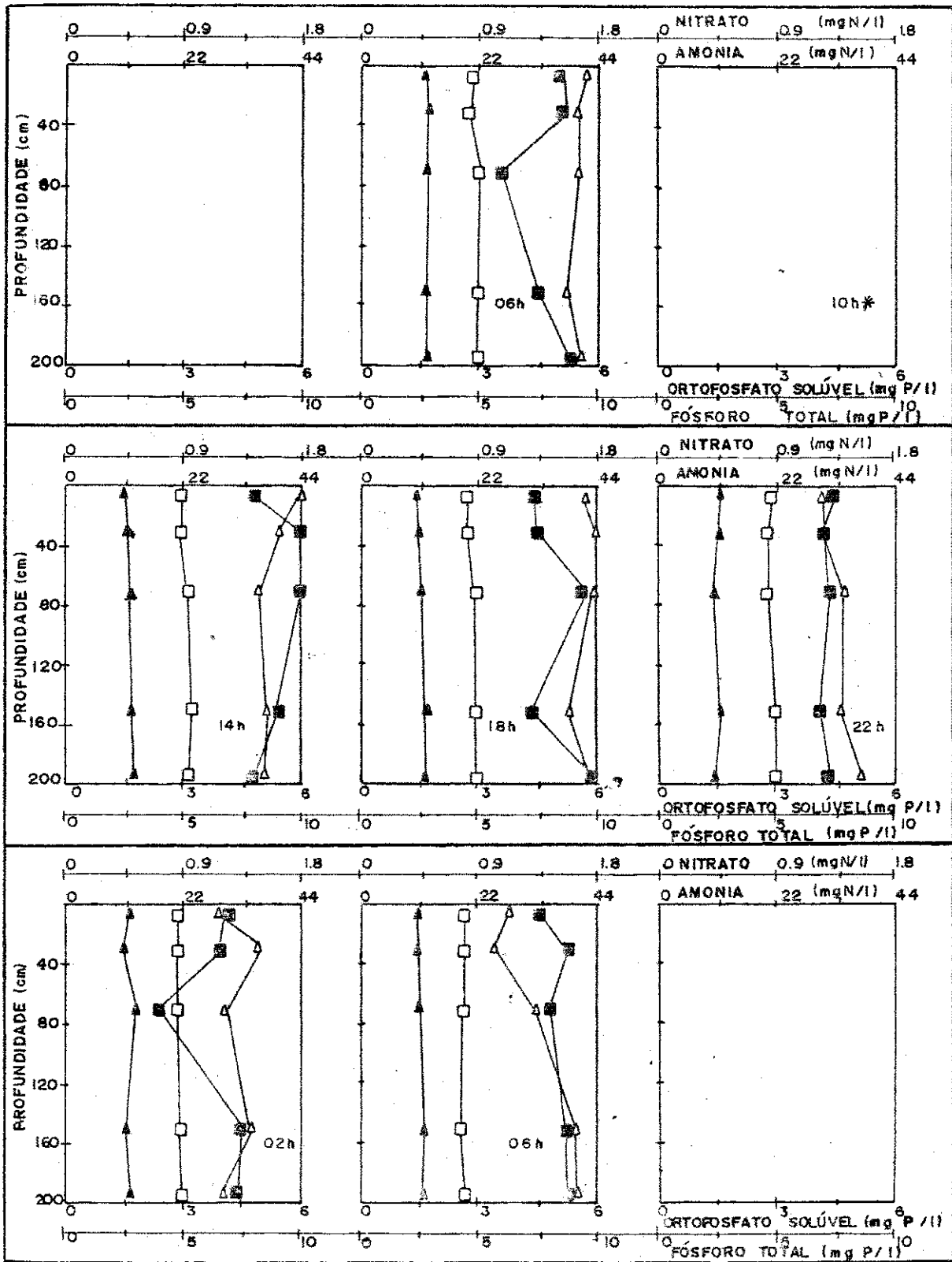


FIG. 4.4]- VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO( $\Delta$ ), AMONIA( $\blacktriangle$ ), ORTOFOSFATO SOLÚVEL( $\square$ ), E FÓSFORO TOTAL ( $\blacksquare$ ), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURACÃO M<sub>0</sub> (26-27.08.87).  
 \* FALTOU ENERGIA

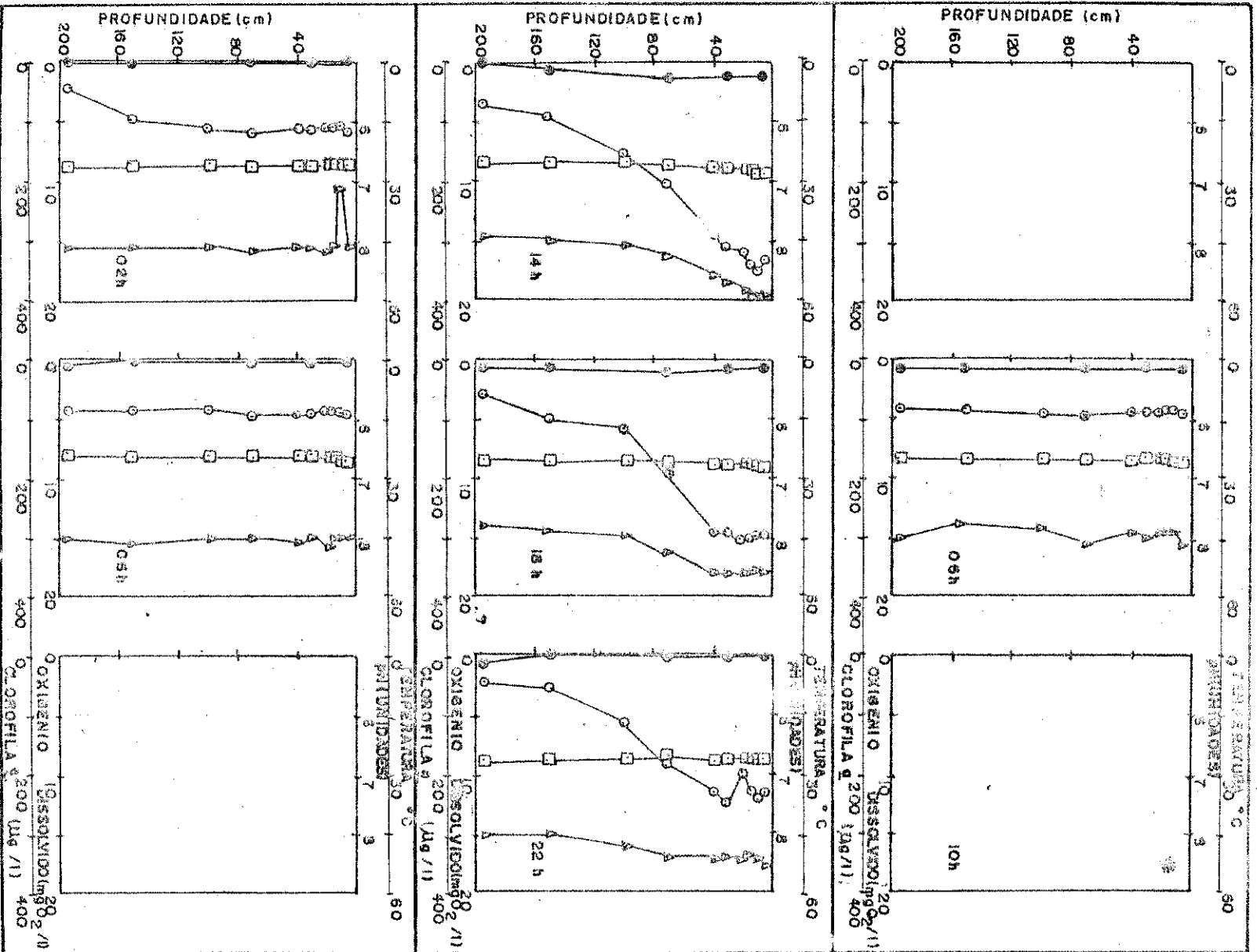


FIG. 4.4.2 — VARIACÕES NOS VALORES DE PH(A), TEMPERATURA(B), ENA CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA (C) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (D) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA LAGOA APALTA DE ENERGIA

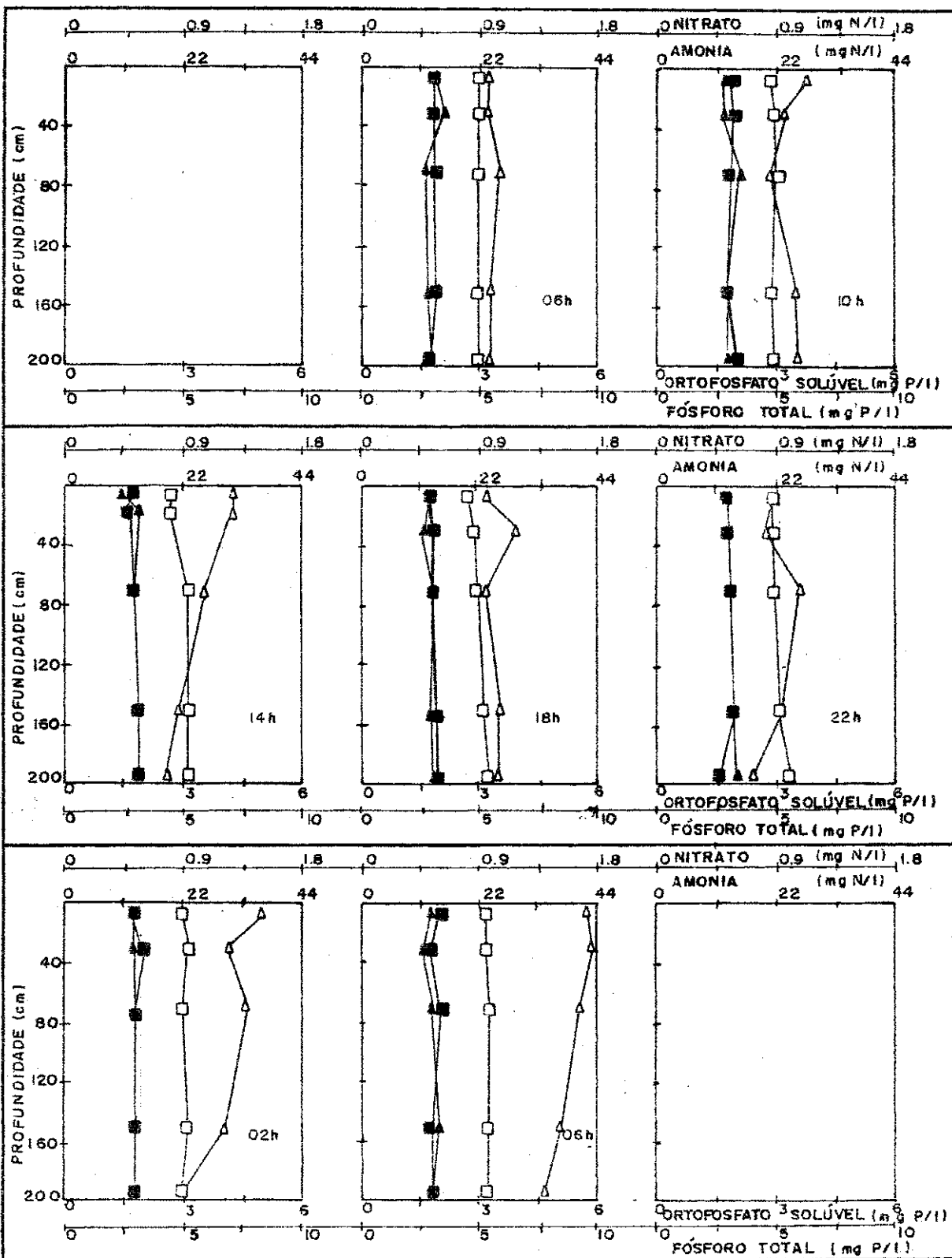


FIG. 4.43— VARIÁÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO(Δ), AMONIA (▲), ORTOFOSFATO SOLÚVEL (□) E FÓSFORO TOTAL (■), DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURAÇÃO M<sub>9</sub> (02.-03.09.87).

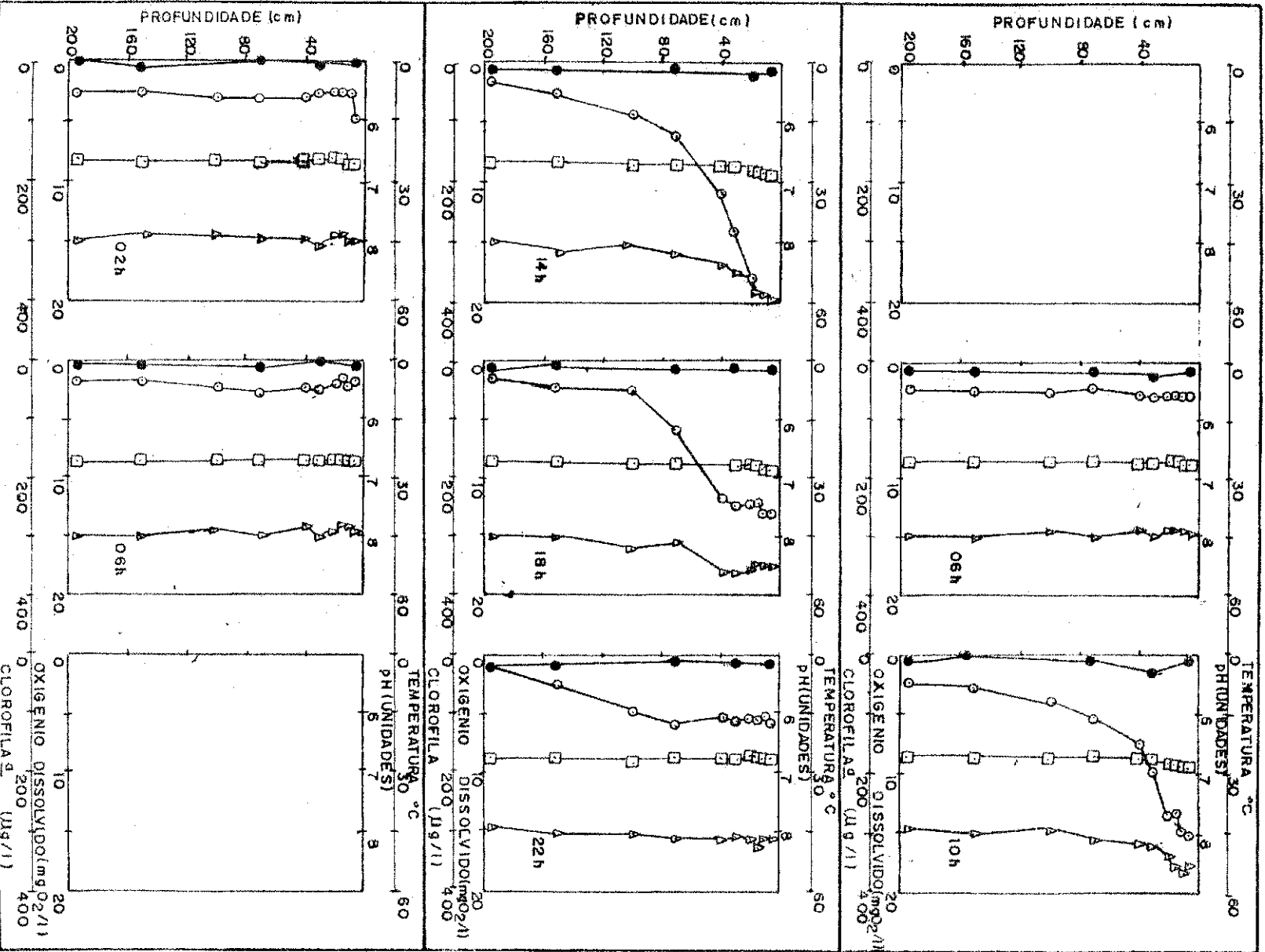


FIG. 4.44 — VARIACÕES NOS VALORES DE PH (A), TEMPERATURA (B) E NAS CONCENTRAÇÕES DE CLO-  
 ROPHILA (C) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (D) DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS NA COLUNA  
 D'ÁGUA DA LAGOA DE MATURÃO MG (02-03-09-87).