

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO CICLO DO ENXOFRE EM
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS EM SÉRIE

IVETE VASCONCELOS LOPES FERREIRA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO CICLO DO ENXOFRE EM
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS EM SÉRIE

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Civil da Uni
versidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para ob
tenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES - Prof. RUI DE OLIVEIRA
Prof^a ANNEMARIE KÖNIG

CAMPINA GRANDE - PB

1988



F368c Ferreira, Ivete Vasconcelos Lopes
Contribuição ao estudo do ciclo do enxofre em lagoas de
estabilização profundas em série / Ivete Vasconcelos Lopes
Ferreira. - Campina Grande, 1988.
168 p.

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

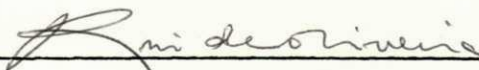
1. Lagoas de Estabilização 2. Tratamento de Esgoto 3.
Enxofre - Tratamento de Esgoto 4. Engenharia Sanitária 5.
Dissertação I. Oliveira, Rui de, Dr. II. König, Annemarie,
Dra. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina
Grande (PB) IV. Título

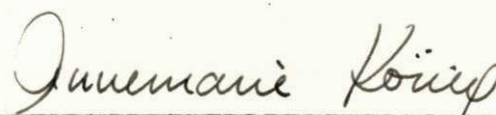
CDU 628.357.11(043)

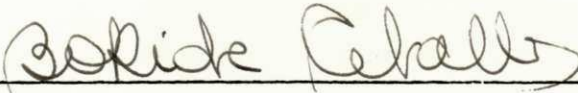
CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO CICLO DO ENXOFRE EM
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PROFUNDAS EM SÉRIE

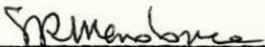
IVETE VASCONCELOS LOPES FERREIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31.08.1988


Prof: RUI DE OLIVEIRA - M.Sc


Prof^a ANNEMARIE KÖNIG - Ph.D


Prof^a BEATRIZ SUSANA O. DE CEBALLOS - M.Sc


Prof. SÉRGIO ROLIM MENDONÇA - M.Sc

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

AGOSTO / 1988

OFERECIMENTO

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Rui de Oliveira e Annemarie König, pela orientação e incentivo.

Ao professor Salomão Anselmo Silva - Chefe de Pesquisa da EXTRABES.

Aos colegas Fátima, Wellington e Germano, pelo companheirismo demonstrado durante todo o curso.

À equipe da EXTRABES, pela colaboração prestada no decorrer da pesquisa.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro.

Aos órgãos convenientes da EXTRABES:

- Universidade Federal da Paraíba - UFPB
- Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA
- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
- Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP
- Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica - FIPEC - Banco do Brasil S/A.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar os principais aspectos do ciclo do enxofre em uma série de lagoas de estabilização profundas, tratando esgoto doméstico. Foram investigadas a geração de sulfeto, as formas de enxofre predominantes nos diferentes níveis de profundidade das lagoas e a biomassa de bactérias fotossintéticas do enxofre. Foi utilizado um sistema experimental em escala piloto constituído de cinco lagoas, sendo a primeira anaeróbia (A₇), seguida de uma lagoa facultativa secundária (F₉) e três de maturação (M₇, M₈ e M₉). As instalações experimentais estavam situadas na EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários), na cidade de Campina Grande (7° 13' 11" S, 35° 52' 31" O), Paraíba, na Região Nordeste do Brasil. Para atender aos objetivos da pesquisa foram realizados dois tipos de experimentos. O primeiro consistiu no monitoramento do Sistema Experimental, realizado no período de 25.08.87 a 18.12.87, e foram levantados os seguintes parâmetros físico-químicos: concentrações de sulfato e sulfeto total, pH e temperatura. O segundo experimento tinha duração de 24 horas tendo como objetivo o levantamento de parâmetros ao longo da profundidade dos reatores a cada 4 horas. Foi levado a efeito no período de 19.08.87 a 29.12.87 tendo sido investigados os seguintes parâmetros: sulfato, sulfeto total, enxofre elementar, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, clorofila a, bacterioclorofilas a, b, c e d, Ra

diação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA), além de dados meteorológicos relativos à velocidade média dos ventos, radiação solar e temperatura do ar. Foi verificado que ao longo do Sistema Experimental houve uma predominância dos processos oxidativos do enxofre, com exceção da lagoa anaeróbia A₇, onde a redução foi o principal fenômeno. Neste reator ocorreu a maior parte da geração de sulfeto que foi a forma de enxofre predominante em toda a coluna líquida. A lagoa facultativa F₉ foi considerada um reator de transição onde, apesar da predominância dos processos de oxidação, a redução do enxofre foi significativa. Este reator experimentou grandes variações de sulfato e sulfeto total ao longo da profundidade, no ciclo diário. Na lagoa de maturação M₇, a oxidação do enxofre foi acentuada, mas no ciclo diário não foram verificadas grandes variações das formas de enxofre ao longo da profundidade, e o sulfato predominou em todos os níveis. Nas lagoas de maturação M₈ e M₉, embora em pequena escala, ainda foi verificada a oxidação do enxofre. Estes reatores exibiram elevadas concentrações de sulfato e concentrações de sulfeto total praticamente nulas ao longo de toda a profundidade. Foi verificada a ocorrência de bactérias fotossintetizadoras do enxofre nos reatores F₉, M₇, M₈ e M₉, através de suas bacterioclorofilas características.

ABSTRACT

The aim of this work was to study some aspects of the sulphur cycle in deep waste stabilization ponds. Sulphide generation, the biomass of photosynthetic bacteria and the occurrence of the various forms of sulphur were all investigated. The pilot scale experimental system was 2.20 m deep, fed with raw domestic sewage and comprised an anaerobic (A₇), a facultative (F₉) and three maturation ponds (M₇, M₈ and M₉) all in series. The lagoons were located at EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários) in the city of Campina Grande (7° 13' 11" S, 35° 52' 31" W), Paraíba, Northeast Brazil.

Two types of experiments were carried out: the monitoring of ponds effluents (from 25.08.87 to 18.12.87) in which sulphate, total sulphide, pH and temperature were measured, and 24 hour experiments (from 19.08.87 to 29.12.87). For the latter, samples were collected every four hours throughout the water column. The distribution of sulphate, total sulphide, elemental sulphur, dissolved oxygen, chlorophyll a, bacteriochlorophylls, pH, temperature and Photosynthetically Active Radiation (PAR) were measured. Pertinent routine meteorological data were also collected.

In A₇, sulphur reduction was found to be dominant

and it was here that the most sulphide generation occurred. In the rest of the series oxidative processes were more important. In the facultative pond sulphur reduction was significant in spite of the predominance of oxidative processes. In this pond, large variations of both sulphate and total sulphide concentrations were observed at all depths throughout the daily cycle. A comparison of the influent and effluent showed that M₇ oxidized reduced sulphur compounds efficiently. Concentrations of the various sulphur forms were not found to vary significantly with depth or time. In the last two ponds (M₈ and M₉) rates of sulphur oxidation were deduced to be low. Sulphate was present at high concentrations and total sulphide almost absent.

Photosynthetic sulphur bacteria were detected in F₉, M₇, M₈ and M₉ by measuring bacteriochlorophylls.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Ciclo do Enxofre	03
2.2. Bactérias Redutoras de Compostos do Enxofre ...	06
2.3. Bactérias Oxidadoras de Compostos Reduzidos de Enxofre	08
2.4. Bacterioclorofilas	13
2.5. Fotossíntese - Fotossíntese Anoxigênica	17
2.6. Ocorrência de Bactérias Oxidadoras de Enxofre em Lagoas de Estabilização	19
2.7. Ocorrência de Bactérias Redutoras de Enxofre em Lagoas de Estabilização	21
2.8. Efeito Tóxico e Inibição de Vida Aquática por Sulfeto	22
2.9. Geração de Odores em Lagoas de Estabilização ..	23
2.10. Cinética das Modificações de Formas do Enxofre.	26
2.11. Corrosão Bacteriana	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Descrição do Sistema Experimental	30
3.2. Alimentação do Sistema Experimental	31
3.3. Caracterização dos Tipos de Experimentos	31
3.3.1. Experimento I	32
3.3.2. Experimento II	32
3.4. Coleta de Amostras	33
3.5. Métodos Analíticos	36

	Página
3.5.1. Temperatura	36
3.5.2. Oxigênio dissolvido	36
3.5.3. pH	37
3.5.4. Sulfato	37
3.5.5. Sulfeto total	37
3.5.6. Enxofre elementar	38
3.5.7. Clorofila <u>a</u>	39
3.5.8. Bacterioclorofilas <u>a</u> , <u>b</u> , <u>c</u> e <u>d</u>	41
3.5.9. Velocidade do vento	42
3.5.10. Intensidade de radiação solar	43
3.5.11. Radiação Solar Fotossinteticamente <u>Ati</u> va (RSFA)	43
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1. Experimento I	48
4.2. Experimento II	50
4.2.1. Lagoa anaeróbia A ₇	50
4.2.1.1. Sulfato	51
4.2.1.2. Sulfeto total	54
4.2.1.3. Clorofila <u>a</u>	57
4.2.2. Lagoa facultativa secundária F ₉	59
4.2.2.1. Sulfato	60
4.2.2.2. Sulfeto total	62
4.2.2.3. Enxofre elementar	65
4.2.2.4. Radiação Solar Fotossintetica <u>me</u> mente Ativa (RSFA)	66
4.2.2.5. Clorofila <u>a</u>	66
4.2.2.6. Bacterioclorofilas	68

	Página
4.2.3. Lagoa de maturação M ₇	70
4.2.3.1. Sulfato	71
4.2.3.2. Sulfeto total	74
4.2.3.3. Enxofre elementar	77
4.2.3.4. Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)	78
4.2.3.5. Clorofila <u>a</u>	78
4.2.3.6. Bacterioclorofilas	81
4.2.4. Lagoa de maturação M ₈	82
4.2.4.1. Sulfato	84
4.2.4.2. Sulfeto total	86
4.2.4.3. Enxofre elementar	87
4.2.4.4. Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)	87
4.2.4.5. Clorofila <u>a</u>	88
4.2.4.6. Bacterioclorofilas	90
4.2.5. Lagoa de maturação M ₉	92
4.2.5.1. Sulfato	93
4.2.5.2. Sulfeto total	95
4.2.5.3. Enxofre elementar	96
4.2.5.4. Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)	96
4.2.5.5. Clorofila <u>a</u>	96
4.2.5.6. Bacterioclorofilas	98
4.3. Análise Geral dos Resultados	100
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	105
5.1. Comportamento do Enxofre no Sistema Experimental	105

	Página
5.2. Ocorrência de Bacterioclorofilas	110
5.3. Qualidade do Efluente	111
5.4. Efeito Tóxico do Sulfeto Sobre as Algas no <u>Sis</u> tema Experimental	114
CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXO	123

1 - INTRODUÇÃO

O enxofre é um dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre (ATLAS & BARTHA, 1987). Para os organismos vivos é de essencial importância já que forma parte de aminoácidos (cisteína e metionina) e coenzimas.

As diversas transformações do enxofre resultam em alguns problemas ambientais.

Os processos de corrosão ocasionados por bactérias do enxofre, por exemplo, causam grandes prejuízos em estruturas de ferro e concreto.

Do ponto de vista da Engenharia Sanitária, e mais especificamente do tratamento de águas residuárias, os compostos do enxofre merecem atenção especial, principalmente o gás sulfídrico. Em estágios anaeróbios de tratamento de águas residuárias, onde há grande produção de gás sulfídrico, a liberação de odores desagradáveis torna-se um problema que pode tomar grandes proporções, principalmente em regiões de clima tropical, devido ao efeito da temperatura.

Um outro problema ocasionado pelo gás sulfídrico consiste no seu efeito tóxico sobre organismos vivos. Em lagoas de estabilização, o efeito tóxico do gás sulfídrico é bastante notável sobre as populações de algas, acarretando sérios pre

juízos ao tratamento de esgotos (PEARSON et alii, 1987).

Esta pesquisa tem como objetivo estudar alguns aspectos do ciclo do enxofre em lagoas de estabilização profundas em série, tratando esgotos domésticos em regiões tropicais, considerando:

- o estudo da geração de sulfeto, principalmente gás sulfídrico, em lagoas de estabilização em série;
- caracterização das formas de enxofre predominantes nos vários níveis da profundidade em lagoas de estabilização em série;
- avaliação da biomassa de bactérias fotossintéticas do enxofre, através da determinação de bacterioclorofilas.

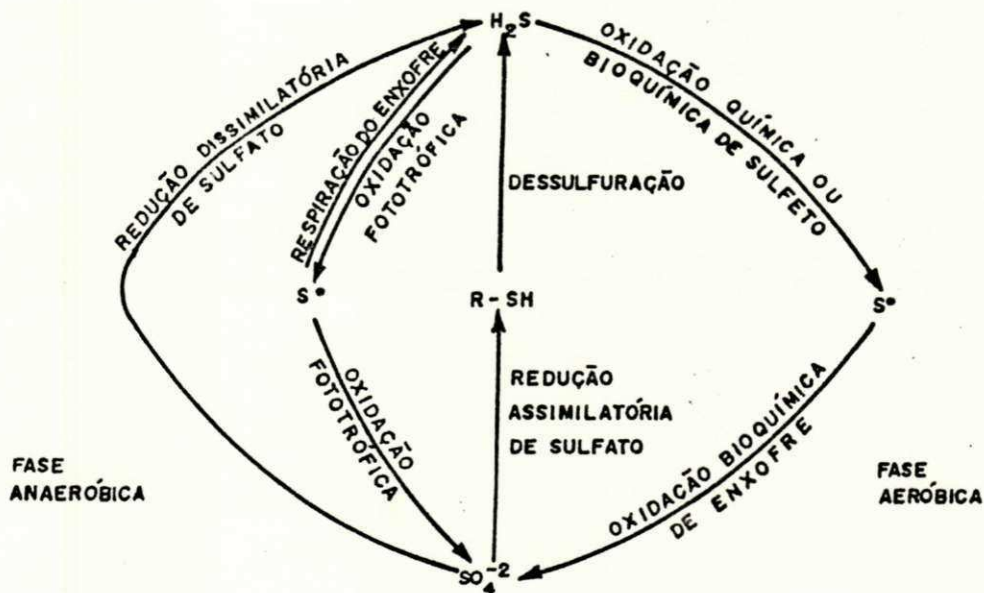
Além do mais, este trabalho se propõe a reunir o maior número possível de informações básicas sobre o assunto, que possam contribuir para um aprofundamento em trabalhos futuros.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Ciclo do Enxofre

O ciclo do enxofre pode ser estudado em uma escala ampla envolvendo as transferências deste elemento entre a biosfera e as reservas de enxofre, ou em uma escala mais restrita. Os ambientes aquáticos constituem um bom exemplo para o estudo das transformações do enxofre em escala localizada (ANDERSON, 1978).

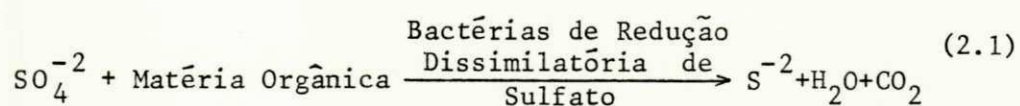
O esquema abaixo ilustra o ciclo do enxofre o qual envolve reações de natureza físico-química e também bioquímica onde participam bactérias aeróbias e anaeróbias.



CICLO DO ENXOFRE - ATLAS & BARTHA (1987).

A redução assimilatória do enxofre caracteriza-se pela transformação de formas de enxofre inorgânico em enxofre orgânico. O processo consiste na redução de sulfato (SO_4^{2-}) (ou qualquer forma de enxofre inorgânico com estado de oxidação maior que -2) para sulfeto, que é então utilizado na formação de aminoácidos. Os organismos que catalisam o processo são as plantas verdes, a maioria dos fungos e a maioria das bactérias aeróbicas (ANDERSON, 1978).

Em ambientes anaeróbios, as bactérias redutoras de sulfato reduzem sulfato para sulfeto à medida que degradam a matéria orgânica. Durante o processo o sulfato é utilizado como acceptor final de elétrons segundo a equação:



Esta etapa do ciclo do enxofre denomina-se redução dissimilatória de sulfato.

A diferença básica entre os dois processos acima descritos é que, na redução assimilatória de sulfato, o sulfeto produzido é incorporado ao material celular, enquanto que na redução dissimilatória ele é liberado para o meio ambiente.

A dessulfurilação ou dessulfuração consiste na liberação de enxofre nas formas de H_2S e mercaptanas a partir de compostos orgânicos (proteínas) durante a decomposição da matéria orgânica morta. O processo é catalisado por bactérias proteolíticas.

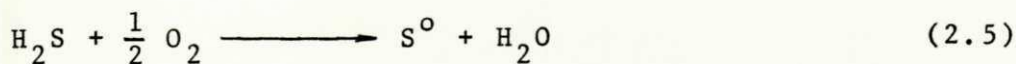
Na presença de luz e sob condições de anaerobiose, as bactérias fotossintetizadoras do enxofre, cujas principais fa

mílias são Chromatiaceae e Chlorobiaceae, utilizam compostos reduzidos do enxofre, principalmente H_2S , como doadores de elétrons durante a fotossíntese anoxigênica. No caso da utilização de H_2S , o mesmo é oxidado para enxofre elementar, que fica armazenado dentro ou fora da célula. Quando o H_2S é esgotado do meio, o enxofre elementar é então oxidado para sulfato. A oxidação de H_2S está ligada à fixação de CO_2 e pode ser descrita pelas seguintes relações estequiométricas propostas por VAN NIEL (1932), citado por TRÜPER (1964):



Portanto, as bactérias anaeróbias fototróficas oxidam sulfeto e enxofre elementar para sulfato com a redução de CO_2 para substrato de célula (PFENNIG & WIDDEL, 1982).

A oxidação de compostos reduzidos do enxofre também pode ser mediada por bactérias na presença de oxigênio. Beggiatoa, Thiothrix, Thiovulum e Thermothrix, por exemplo, oxidam sulfeto de hidrogênio, de acordo com a relação (ATLAS & BARTHA, 1987):



O enxofre formado é armazenado intracelularmente, e na ausência de H_2S é oxidado para sulfato.

Espécies de Thiobacillus também oxidam compostos reduzidos do enxofre, na presença de oxigênio, e alguns membros

deste gênero são os principais oxidadores de enxofre elementar.

Membros do gênero Sulfolobus oxidam enxofre elementar sob condições ácidas em temperaturas elevadas.

O mecanismo de oxidação química (reação espontânea) de compostos reduzidos de enxofre também pode ser verificado, desde que oxigênio molecular esteja disponível. O bissulfeto (HS^-) é rapidamente oxidado na presença de O_2 ou íon férrico, sob condições de pH neutro (BROCK et alii, 1984). A oxidação de HS^- por oxigênio molecular resulta na formação de enxofre elementar ou tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$). O produto final depende da proporção sulfeto/oxigênio, da concentração inicial de sulfeto e da presença ou ausência de metais como catalisadores (BROCK et alii, 1984).

2.2 - Bactérias Redutoras de Compostos do Enxofre

Nesta seção serão feitas considerações apenas sobre as bactérias de redução dissimilatória de compostos do enxofre, haja vista a grande importância dos seus produtos sobre aqueles da redução assimilatória no ciclo do enxofre.

BROCK et alii (1984) dividiram as bactérias de redução dissimilatória de sulfato em dois grupos. O primeiro compreende os gêneros Desulfovibrio, Desulfomonas e Desulfotomaculum, os quais utilizam lactato, piruvato, etanol e certos ácidos graxos como fonte de energia e carbono. Os gêneros Desulfobulbus, Desulfobacter, Desulfococcus, Desulfosarcina e Desulfonema pertencem ao segundo grupo, sendo especializados na oxida

ção de ácidos graxos, sobretudo acetato. As bactérias dissimilatórias de sulfato são anaeróbias estritas e utilizam sulfato como acceptor final de elétrons no processo de degradação da matéria orgânica, com produção de sulfeto. Os gêneros Desulfuromonas, Campylobacter, Desulfurococcus, Thermoproteus, Thermococcus e Thermofilum, ao invés de sulfato, utilizam enxofre elementar como acceptor final de elétrons, sendo conhecidos como bactérias de redução dissimilatória de enxofre. A espécie Desulfuromonas acetoxidans, além de enxofre, utiliza polissulfetos como aceptores finais de elétrons (PFENNIG & WIDDEL, 1982).

Algumas espécies de Desulfovibrio podem fixar nitrogênio (BROCK et alii, 1984). Segundo estes autores, as bactérias redutoras de sulfato são encontradas em ambientes aquáticos e terrestres que se tornam anaeróbios devido aos processos de decomposição microbiana. São consideradas os principais agentes dos processos de corrosão (HAMILTON, 1985).

Na decomposição da matéria orgânica, as bactérias redutoras de sulfato podem ser consideradas oxidadoras finais em ambientes com disponibilidade de sulfato, agindo similarmente às bactérias metanogênicas (PFENNIG & WIDDEL, 1982). As bactérias redutoras de sulfato podem inibir a atividade das bactérias metanogênicas devido à competição por H_2 e acetato utilizados como doadores de elétrons (BROCK et alii, 1984).

Um aspecto bastante curioso a respeito da evolução dessas bactérias é que, de acordo com PECK (1974), citado por PFENNIG & WIDDEL (1982), as bactérias redutoras de sulfato apresentam relações genéticas com determinadas bactérias fototróficas do enxofre mais próximas do que com as próprias bactérias redutoras. Des

te modo, PFENNIG & WIDDEL (1982) admitem a possibilidade de relações evolutivas entre os dois grupos de bactérias. Por sua vez, a atmosfera primitiva não apresentava sulfato (BRODA, 1975; citado por PFENNIG & WIDDEL, 1982), o qual deve ter sido formado a partir da atividade das bactérias fototróficas do enxofre, e portanto as bactérias redutoras se desenvolveram depois daquelas.

2.3 - Bactérias Oxidadoras de Compostos Reduzidos de Enxofre

Na natureza existem algumas bactérias capazes de oxidar compostos reduzidos do enxofre, que podem ser divididas nos seguintes grupos: bactérias púrpuras do enxofre, bactérias verdes do enxofre, bactérias púrpuras não sulfurosas, bactérias verdes filamentosas, cianobactérias e bactérias incolores do enxofre.

O primeiro grupo (família Chromatiaceae) compreende os seguintes gêneros: Thiospirillum, Ectothiorhodospira, Chromatium, Thiocystis, Thiosarcina, Thiocapsa, Lamprocystis, Thiodictyon, Thiopedia e Amoebobacter. As bactérias púrpuras do enxofre são anaeróbias estritas, fotossintetizadoras, e na maioria dos casos são móveis. São consideradas mixotróficas pela capacidade de crescimento tanto fotoautótrofo quanto heterótrofo (PFENNIG & TRÜPER, 1981). Todavia, a habilidade para utilizar compostos orgânicos como fonte de carbono é limitada (BROCK et alii, 1984). O principal doador de elétrons na fotoassimilação de CO_2 é o H_2S , sendo que algumas bactérias podem utilizar enxofre elementar, tiosulfato, sulfito e hidrogênio molecular

(STANIER et alii, 1977). Segundo estes autores, a oxidação de H_2S até $SO_4^{=}$ por bactérias púrpuras do enxofre se dá em duas e etapas distintas: a primeira consiste na transformação de H_2S para S^0 e a segunda na oxidação de S^0 para $SO_4^{=}$. O enxofre elementar produzido na primeira etapa é armazenado intracelularmente, com exceção do gênero Ectothiorhodospira, que o deposita fora da célula. No entanto, estudos realizados com Chromatium okenii (TRÜPER, 1964) demonstraram que a oxidação de sulfeto e a de enxofre intracelular ocorrem simultaneamente. A ocorrência de bactérias púrpuras do enxofre é verificada em zonas anaeróbias de lagos e fontes de enxofre (BROCK et alii, 1984). MIYOSHI (1897), citado por PFENNIG & TRÜPER (1981), observou sua presença em fontes termais de enxofre no Japão, onde a temperatura variou entre $35^{\circ}C$ e $44^{\circ}C$. De acordo com os autores, lagoas de estabilização anaeróbias também constituem um ambiente favorável ao desenvolvimento de bactérias púrpuras do enxofre, além de habitats marinhos e salinos (Ectothiorhodospira).

O segundo grupo de bactérias oxidadoras — bactérias verdes do enxofre — compreende a família Chlorobiaceae, formada pelos gêneros: Chlorobium, Prosthecochloris, Pelodictyon e Clathrochloris. Todos são anaeróbios estritos, não móveis e fotoautótrofos, utilizando H_2S e compostos reduzidos do enxofre como doador de elétrons. O enxofre elementar produzido durante a oxidação de sulfeto de hidrogênio para sulfato é depositado fora da célula. Em estudos realizados com Chlorobium, foi observado que o enxofre elementar depositado extracelularmente não pode ser utilizado por outros indivíduos, uma vez que o mesmo permanece ligado à célula pela qual foi produzido (VAN GEMER

DEN, 1986). A fixação de nitrogênio atmosférico é observada neste grupo de bactérias (STANIER et alii, 1977). As bactérias verdes do enxofre possuem um eficiente sistema de captação de luz, o que permite seu desenvolvimento em ambientes com baixa intensidade luminosa (BIEBL & PFENNIG, 1978; citados por PFENNIG & WIDDEL, 1982).

Os dois grupos de bactérias acima descritos (bactérias verdes e bactérias púrpuras do enxofre) apresentam algumas características comuns, ou seja, ambos são capazes de crescer anaerobicamente sob luz com CO_2 como única fonte de carbono e de utilizar sulfeto de hidrogênio como doador de elétrons (VAN GEMERDEN, 1986).

Quanto às bactérias púrpuras não sulfurosas (família Rhodospirillaceae), a princípio achava-se que não eram capazes de utilizar sulfeto como doador de elétrons na redução de CO_2 , e por isso foram denominadas "não sulfurosas". Atualmente, sabe-se que estas bactérias podem utilizar sulfeto, desde que em baixas concentrações, sendo sua oxidação para sulfato realizada sem acumulação de enxofre elementar (BROCK et alii, 1984). Alguns tipos podem utilizar ainda hidrogênio molecular e tiosulfato (TRÜPER & PFENNIG, 1981). Os gêneros pertencentes às bactérias púrpuras não sulfurosas são: Rhodospirillum, Rhodopseudomonas e Rhodomicrobium. São microaerofílicas e fotoorganostróficas, mas muitas espécies também crescem fotolitotroficamente (TRÜPER & PFENNIG, 1981); apresentam grande habilidade para fixar nitrogênio (TRÜPER & PFENNIG, 1978), e ocorrem com frequência em lagos e lagoas que contenham matéria orgânica e concentração de sulfeto baixa ou nula (STANIER et alii, 1977).

HANSEN & VELDKAMP (1973), citados por TRÜPER & FISCHER (1982), entretanto, observaram que Rhodopseudomonas sulfidophila apresenta melhor crescimento em concentrações elevadas de sulfeto. Rhodopseudomonas sulfoviridis também se desenvolve sob tal condição (KEPPEN & GORLENKO, 1975; citados por TRÜPER & PFENNIG, 1978).

As bactérias verdes filamentosas correspondem à família Chloroflexaceae representada pelos gêneros Chloroflexus, Oscillochloris e Chloronema. São bactérias flexíveis que se movem por deslizamento. O gênero Chloroflexus é bastante versátil podendo crescer fotoautotroficamente com H_2S ou H_2 como doadores de elétrons, fotoheterotroficamente e ainda heterotroficamente no escuro sob condições aeróbias (BROCK et alii, 1984). De acordo com TRÜPER & PFENNIG (1978), é mais adaptado ao crescimento fotoheterotrófico. Apesar de oxidar H_2S na redução de CO_2 , STANIER et alii (1977) referem-se ao gênero Chloroflexus como bactérias verdes não sulfurosas. Chloroflexus é geralmente encontrado em ambientes parcialmente aeróbios e, por ser termofílico, é frequente em fontes termais de enxofre com temperatura variando entre $45^{\circ}C$ e $70^{\circ}C$ (STANIER et alii, 1977). As bactérias verdes filamentosas realizam fotossíntese anoxigênica e são de grande interesse evolucionário, devido à semelhança com cianobactérias, que realizam fotossíntese anoxigênica e oxigênica (BROCK et alii, 1984).

As bactérias oxidadoras do quinto grupo - cianobactérias - são fotoautótrofas, com capacidade de utilizar H_2S como agente redutor no processo de fotossíntese anoxigênica, oxidando-o para enxofre elementar (BROCK et alii, 1984). Segundo

os autores, algumas cianobactérias são capazes de fixar nitrogênio e estão largamente distribuídas na natureza (solos, águas doces, mares, etc).

Finalmente, as bactérias incolores do enxofre têm como característica a capacidade para oxidar compostos reduzidos do enxofre utilizando oxigênio ou nitrato como acceptor de elétrons (JØRGENSEN, 1982). Os compostos reduzidos do enxofre mais utilizados como doadores de elétrons são sulfeto, enxofre elementar e tiosulfato. Os representantes das bactérias incolores do enxofre são (KUENEN & BEUDEKER, 1982): Thiobacillus, Thiomicrospira, Thermothrix, Pseudomonas sp, Beggiatoa, Thiovulum, Thiospira, Thiothrix, Thioploca, Thiophysa, Sulfolobus e Paracoccus. Algumas são aeróbias e outras aeróbio-facultativas, e quanto à categoria nutricional podem ser quimioautótrofas facultativas ou obrigatórias e quimioheterótrofas (KUENEN & BEUDEKER, 1982). Thiobacillus ferrooxidans, além de compostos do enxofre, oxida ferro, e, segundo MACKINTOSH (1978), citado por KUENEN & BEUDEKER (1982), é capaz de fixar nitrogênio atmosférico. É de grande importância econômica devido a sua aplicação na lixiviação de metais (POSTGATE, 1982). Juntamente com Thiobacillus thiooxidans e Sulfolobus, T. ferrooxidans, se desenvolve sob condições de pH ácido. Os gêneros Thiomicrospira e Thermothrix podem crescer anaerobicamente utilizando nitrato como acceptor de elétrons. Alguns gêneros como Sulfolobus e Thermothrix são termófilos e ocorrem em fontes termais. Beggiatoa e Thiothrix são mais frequentes em ambientes ricos em sulfeto.

As bactérias que oxidam sulfeto são de grande interesse no tratamento anaeróbio de águas residuárias no sentido

de minimizar maus odores através da remoção de sulfeto de hidrogênio.

Uma outra aplicação de bactérias oxidadores de enxofre está na remoção de nitrato de efluentes de estações de tratamento de esgotos (BATCHELOR & LAWRENCE, 1978; citados por KUENEN & BEUDEKER, 1982).

2.4 - Bacterioclorofilas

As bacterioclorofilas são pigmentos característicos das bactérias fotossintéticas verdes e púrpuras. Estes pigmentos são estruturalmente semelhantes à clorofila de algas e plantas, e desempenham as mesmas funções na fotossíntese bacteriana: captação de luz e participação nos centros de reação fotoquímica.

São conhecidos cinco tipos de bacterioclorofilas: a, b, c, d e e.

As bactérias púrpuras possuem bacterioclorofila a ou b, enquanto que as bactérias verdes apresentam bacterioclorofila c, d ou e e traços de bacterioclorofila a. Além destes pigmentos, as bactérias verdes e púrpuras apresentam carotenóides, que desempenham as seguintes funções: captação de luz e proteção do aparelho fotossintético contra danos fotooxidativos (STANIER et alii, 1977).

A principal faixa de absorção de luz das bactérias púrpuras (bacterioclorofila a ou b) situa-se na região infra

vermelha do espectro, enquanto que as bactérias verdes (bacterioclorofilas c, d ou e) absorvem melhor a luz na região vermelha, semelhantemente à clorofila a das algas. STANIER & SMITH (1960) demonstraram a semelhança das estruturas espectrais da clorofila a e bacterioclorofilas de Chlorobium (então denominadas Chlorobium clorofilas).

Uma estimativa da biomassa de bactérias verdes e púrpuras em ambientes aquáticos (lagoas de estabilização, por exemplo) pode ser feita através da determinação de bacterioclorofilas. As técnicas utilizadas baseiam-se na determinação através do espectro de absorção **in vivo** (TRÜPER & YENTSCH, 1967) ou extração dos pigmentos bacterianos com solventes orgânicos (TAKAHASHI & ICHIMURA, 1968).

O método descrito por TRÜPER & YENTSCH (1967) consiste na filtração da amostra através de filtros de fibra de vidro e colocação direta do papel de filtro no espectrofotômetro. As leituras são realizadas contra uma prova em branco que consiste num papel umedecido. A vantagem desta técnica está na rapidez com que se obtêm os resultados. O conhecimento dos comprimentos de onda de máxima absorção de bacterioclorofilas em células vivas é de grande significado ecológico no que se refere à caracterização taxonômica de várias bactérias verdes e púrpuras (BROCK et alii, 1984).

Os comprimentos de onda recomendados para a determinação de bacterioclorofilas em células vivas estão indicados no quadro que segue:

COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO <i>in vivo</i> (nm)		
PIGMENTO	STANIER et alii (1977)	BROCK et alii (1984)
Bacterioclorofila <u>a</u>	850-910	805 830-890
Bacterioclorofila <u>b</u>	1020-1035	835-850 1020-1040
Bacterioclorofila <u>c</u>	750-755	745-755
Bacterioclorofila <u>d</u>	725-735	705-740
Bacterioclorofila <u>e</u>	715-725	719-726

Com relação às duas faixas de comprimentos de onda a apresentadas por BROCK et alii (1984), referentes às bacterioclorofilas a e b, é provável que a segunda faixa seja mais adequada em ambos os casos já que são mais compatíveis com os valores fornecidos por STANIER et alii (1977).

A determinação de bacterioclorofilas, utilizando-se solventes orgânicos (éter, metanol, etanol, etc), consiste na filtração da amostra e extração do pigmento. O papel de filtro deve ficar em contato com o solvente durante algumas horas, e após a extração do pigmento são realizadas as leituras de absorbância.

O quadro seguinte indica os comprimentos de onda de máxima absorção de luz dos diferentes tipos de bacterioclorofilas, de acordo com o extrator utilizado.

COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO DE LUZ (nm)			
PIGMENTO	JONES (1979)	STANIER et alii (1977)	BROCK et alii (1984)
	Acetona	Acetona ou Éter	Metanol
Bacterioclorofila <u>a</u>	772	773	771
Bacterioclorofila <u>b</u>	772	795	794
Bacterioclorofila <u>c</u>	654	660	660-669
Bacterioclorofila <u>d</u>	662	654	654
Bacterioclorofila <u>e</u>	-	647	646

Para BROCK et alii (1984), a determinação de bacterioclorofilas através da extração com solventes orgânicos é conveniente devido à simplicidade da técnica.

STAL et alii (1984), baseados no método de WHITNEY & DARLEY (1979), propuseram um método para a determinação de clorofila a simultaneamente com bacterioclorofila a, suas respectivas feofitinas e enxofre elementar, além de indicação da presença de outras bacterioclorofilas (c, d e e). O método baseia-se na separação dos pigmentos em duas fases, metanol e hexano. Em linhas gerais, os pigmentos das amostras são extraídos com metanol na ausência de luz, sendo posteriormente as amostras filtradas ou centrifugadas. O extrato de metanol é então submetido à agitação vigorosa num funil separador que contém hexano. Para facilitar a separação das duas fases, utiliza-se NaCl. Na fase do hexano são encontradas clorofila a e feofitina a, além de 70% de bacterioclorofila a e sua feofitina correspondente. As demais bacterioclorofilas ficam distribuídas de maneira quase uniforme em ambas as fases, enquanto o enxofre elementar só é encontrado na fase do hexano.

Os comprimentos de onda utilizados pelos autores do método nas leituras de absorbância das bacterioclorofilas foram:

COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO (nm)			
PIGMENTO	METANOL	HEXANO	METANOL/NaCl
Bacterioclorofila <u>a</u>	770 (a)	768	770
Bacterioclorofila <u>c</u>	668 (b)	664	670
Bacterioclorofila <u>d</u>	657 (b)	650	658
Bacterioclorofila <u>e</u>	659 (c)	645	659

(a) CLAYTON (1963)

(b) STANIER & SMITH (1960)

(c) VAN GEMERDEN & BREEFTINK (1978)

Segundo os autores, o método é bastante útil na de terminação da distribuição vertical de pigmentos e seus produ tos de degradação, em ambientes que contenham cianobactérias e bactérias púrpuras, e apresenta como vantagens baixo custo, ra pidez e relativa simplicidade. Por outro lado, o método não de termina a bacterioclorofila b, que é um dos pigmentos caracte rísticos das bactérias púrpuras do enxofre.

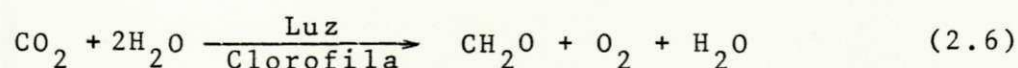
2.5 - Fotossíntese - Fotossíntese Anoxigênica

A fotossíntese é um processo bioquímico através do qual plantas, algas e algumas bactérias convertem energia lumi nosa em energia química, que é utilizada na síntese de material celular.

As condições necessárias para a ocorrência da fotos
síntese são: presença de pigmentos de captação de luz (clorofi
la ou bacterioclorofila), dióxido de carbono, água e luz solar.

O processo fotoquímico é dividido em duas fases. A
primeira, denominada fase clara, é aquela na qual a energia lumi
nosa se transforma em energia química (ATP). A fase escura con
siste na utilização desta energia na redução de CO₂ para com
postos orgânicos.

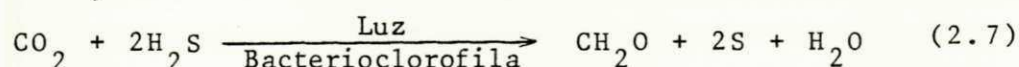
As plantas e algas realizam fotossíntese com produ
ção de oxigênio, sendo portanto denominada de fotossíntese oxi
gênica. A equação geral que descreve o processo é:



O oxigênio produzido é proveniente da molécula de
água, a qual é utilizada como fonte de poder redutor.

Em tratamentos biológicos de águas residuárias atra
vés de lagoas de estabilização, a fotossíntese das algas é de
vital importância pelo fornecimento de oxigênio para a oxida
ção bacteriana aeróbia da matéria orgânica.

As bactérias fotossintetizadoras do enxofre, entre
tanto, não produzem oxigênio no processo de fotossíntese. Ao
invés da água, utilizam compostos reduzidos de enxofre e hidro
gênio molecular como doadores de elétrons. A fotossíntese des
tes organismos é denominada anoxigênica, e pode ser representa
da pela equação:



As cianobactérias, por sua vez, são capazes de realizar os dois tipos de fotossíntese, dependendo das condições ambientais. Na presença de concentrações elevadas de H_2S realizam fotossíntese anoxigênica (COHEN et alii, 1975; citados por JØRGENSEN, 1982). Estudos realizados com cianobactérias em um lago tropical salgado, demonstraram que as mesmas realizaram fotossíntese anoxigênica cedo da manhã, mas quando o sulfeto foi consumido (concentração abaixo de $5 \mu M$), passaram a realizar fotossíntese oxigênica (JØRGENSEN, 1979; citado por PFENNIG & WIDDEL, 1982).

Quem comprovou que as bactérias fotossintetizadoras do enxofre não produziam oxigênio no processo fotossintético e que utilizavam H_2S como doador de elétrons foi Van Niel, em 1931. No entanto, as pesquisas sobre estes organismos foram iniciadas por volta de 1880 por Sergei Winogradsky. Outros pesquisadores que se destacaram foram Engelmann, contemporâneo de Winogradsky, que demonstrou a capacidade fotossintética destas bactérias, e Burder, cuja contribuição foi a proposta de que durante a fotossíntese bacteriana não havia liberação de oxigênio, embora achasse que o mesmo era produzido mas imediatamente utilizado na oxidação de H_2S (BROCK et alii, 1984).

2.6 - Ocorrência de Bactérias Oxidadoras de Enxofre em Lagoas de Estabilização

Lagoas de estabilização constituem um ambiente propício ao desenvolvimento de muitas bactérias oxidadoras de compostos reduzidos do enxofre.

As bactérias verdes e púrpuras do enxofre são os principais oxidadores de sulfeto em lagoas de estabilização, onde ocorrem em grande número (MARA & PEARSON, 1986). Segundo GLOYNA & ESPINO (1969), a maior ocorrência destas bactérias se verifica nas estações de verão e outono, quando as concentrações de sulfato ou sulfeto são elevadas.

As lagoas anaeróbias podem apresentar condições suficientes de penetração de luz para o desenvolvimento de bactérias fotossintéticas que oxidam sulfeto. A zona mais adequada será onde coexistem luz e elevadas concentrações de gás sulfídrico produzido por redução dissimilatória de sulfato. De acordo com GLOYNA (1971) e SLETTEN & SINGER (1971), citados por PFENNIG & TRÜPER (1981), e HOLM & VENNES (1970), lagoas anaeróbias tratando águas residuárias oferecem condições para o desenvolvimento tanto de bactérias redutoras de sulfato quanto de bactérias púrpuras do enxofre.

Em lagoas facultativas, as bactérias fotossintetizadas ocorrem a meia profundidade, logo abaixo da oxipausa e da principal zona de concentração de algas (MARA & PEARSON, 1986).

HOLM & VENNES (1970) pesquisaram a ocorrência de bactérias púrpuras do enxofre em uma lagoa de estabilização facultativa ($288 \text{ kg DBO}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) alimentada com esgoto doméstico, e observaram que Thiocapsa floridana e Chromatium vinosum foram as bactérias púrpuras predominantes. A presença de bactérias púrpuras esteve associada à diminuição da DBO_5 , ácidos voláteis e sulfeto. A remoção deste último demonstrou a eficiência destas bactérias na minimização de odores em lagoas. Outras bactérias púrpuras do enxofre, comuns em sistemas de tra

tamento de esgotos são Thiocapsa roseopersicina, várias espécies de Chromatium e Thiocystis violacea (PFENNIG & TRÜPER, 1981). COOPER et alii (1975) observaram que Thiocapsa roseopersicina foi a bactéria oxidadora do enxofre predominante numa lagoa que recebia águas residuárias de curtimento de peles de ovelha.

Quanto às bactérias incolores do enxofre, não são encontradas com frequência em lagoas de estabilização (GLOYNA & ESPINO, 1969). MARA & PEARSON (1986) referem-se à pouca informação sobre a significância destas bactérias em lagoas de estabilização de esgotos.

2.7 - Ocorrência de Bactérias Redutoras de Enxofre em Lagoas de Estabilização

Embora não se tenham dados explícitos na literatura relativos à ocorrência de bactérias redutoras de compostos inorgânicos de enxofre em lagoas de estabilização, com base nas características ecológicas destes organismos é fácil deduzir sua presença em tais ambientes.

As lagoas anaeróbias, com material orgânico e sulfato afluentes, fornecem condições ideais para o desenvolvimento de bactérias redutoras. Desulfovibrio, por exemplo, é comum em ambientes aquáticos com estas características (BROCK et alii, 1984). A atividade de bactérias redutoras em lagoas anaeróbias é facilmente identificada pelo desprendimento de odores desagradáveis como consequência da produção de sulfeto de hidrogênio.

Em lagoas facultativas, as bactérias redutoras de sulfato ocorrem na região anaeróbia, próxima à camada de lodo.

Lagoas de maturação não favorecem o desenvolvimento de bactérias de redução dissimilatória de sulfato, em virtude das elevadas concentrações de oxigênio dissolvido e baixo conteúdo de material orgânico.

2.8 - Efeito Tóxico e Inibição de Vida Aquática por Sulfeto

Num ambiente aquático, o sulfeto em sua forma não ionizada (H_2S) não é responsável apenas pela liberação de maus odores, mas está diretamente relacionado com a toxicidade sobre organismos vivos, inclusive peixes.

Em lagoas de estabilização, onde o princípio de depuração baseia-se na simbiose entre algas e bactérias, o efeito tóxico de sulfeto sobre a população, sobretudo de algas, irá comprometer seriamente o processo de tratamento. Nas algas, o sulfeto de hidrogênio inibe o aparelho fotossintético e consequentemente a fotossíntese, e em bactérias anaeróbias heterotróficas inibe a atividade metabólica (MARA & PEARSON, 1986). Segundo os autores, o sulfeto de hidrogênio penetra nas membranas celulares desses organismos.

A faixa de concentração de sulfeto que se torna ofensiva às algas, segundo GLOYNA & ESPINO (1969), é de 6,5 mg/l a 8,5 mg/l. MARA & PEARSON (1986) afirmaram que, para valores de pH característicos de lagoas de estabilização, concentrações de 8 mg/l são suficientes para inibir a fotossíntese.

Existem algas mais sensíveis ao sulfeto que outras. PEARSON et alii (1987) demonstraram que as algas mais sensíveis são, em ordem decrescente: Euglena, Scenedesmus, Chlorella e Chlamydomonas. Portanto, o sulfeto pode influenciar a especiação de algas em ambientes aquáticos.

Um dos principais fatores que influenciam a toxicidade do sulfeto sobre a vida aquática é o pH. Quanto menor o pH, maior o efeito tóxico do sulfeto (HOWSLEY & PEARSON, 1979; citados por PEARSON et alii, 1987). Para os peixes e macroinvertebrados, o sulfeto é tóxico quando o pH está abaixo de 7,0, onde se tem de 50 a 100% do sulfeto na forma de H_2S (DUNNETTE et alii, 1985).

O tempo de exposição de organismos vivos ao sulfeto também deve ser considerado. No caso das algas, o reestabelecimento da atividade fotossintética é tanto mais lento quanto maior o tempo de contato com o sulfeto (PEARSON et alii, 1987).

2.9 - Geração de Odores em Lagoas de Estabilização

Em ambientes aquáticos poluídos com resíduos orgânicos, existem várias fontes de geração de odores. Os produtos finais do metabolismo de determinadas algas verde-azuladas, diatomáceas e flageladas pigmentadas constituem um bom exemplo (GLOYNA & ESPINO, 1969).

Determinados compostos de enxofre também são fontes de geração de odores. Este é o caso das mercaptanas e sulfeto de hidrogênio, liberados no processo de dissulfuração (ATLAS

& BARTHA, 1987). Em lagoas de estabilização, todavia, a principal fonte de odor é o sulfeto de hidrogênio produzido pela atividade das bactérias de redução dissimilatória de sulfato.

Os fatores que podem limitar a redução dissimilatória de sulfato por bactérias, e conseqüentemente a geração de odores, são as concentrações de oxigênio dissolvido e o potencial de óxido-redução (GLOYNA E ESPINO, 1969). ZO BELL & RITTENBERG (1948), citados por GLOYNA & ESPINO (1969), determinaram que a faixa de potencial de óxido-redução para o crescimento de bactérias redutoras de sulfato varia entre -100mV a -300mV num pH = 7,0. Quanto às concentrações de oxigênio dissolvido, devem prevalecer condições de anaerobiose. Além do oxigênio, a presença de nitrato ou de íons férricos inibe a redução de sulfato (ATLAS & BARTHA, 1987). A atividade dessas bactérias ainda depende de outros fatores como carga orgânica, concentrações de sulfato e temperatura (MARA & PEARSON, 1986). Para valores de temperatura abaixo de 15°C, a taxa de redução de sulfato cai bruscamente (WHEATLAND, 1954; citado por GLOYNA & ESPINO, 1969 e MARA & PEARSON, 1986). Acima de 15°C, a taxa de geração de sulfeto praticamente duplica para cada 10°C de aumento da temperatura (GLOYNA & ESPINO, 1969). O valor de pH também é de vital importância na questão de geração de odores, já que é um fator determinante da forma em que o sulfeto está presente em um determinado ambiente aquático. Para valores de pH acima de 8,0, a maior parte do sulfeto está nas formas ionizadas (HS^- e S^{-2}), e a quantidade de H_2S é tão pequena que sua pressão parcial não é suficiente para causar problemas de odores. Quando o pH cai para valores abaixo de 8,0, o H_2S predomina e sua pressão parcial torna-se elevada causando problemas de odores (SAWYER

& McCARTY, 1985).

Na tentativa de otimizar projetos de lagoas de esta bilização no que se refere ao controle de geração de sulfeto, e conseqüentemente de todos os efeitos prejudiciais que pode causar, GLOYNA & ESPINO (1969) propuseram um modelo matemático que estima a geração de sulfeto em tais ambientes.

Neste estudo, utilizaram um modelo reduzido de la goa facultativa alimentado com esgoto sintético. O modelo ma temático proposto foi:

$$(S^-) = K(SO_4^-) \quad (2.8)$$

onde: (S^-) é a concentração média de sulfeto na lagoa no perío do de 24 horas, K é uma constante adimensional que é função da carga orgânica superficial, tempo de detenção hidráulica e da temperatura média da lagoa, e (SO_4^-) é a concentração do íon sulfato no afluente.

Algumas soluções já foram apresentadas no sentido de eliminar odores. A manutenção de uma camada superficial oxige nada na massa líquida pode ser uma solução adequada. Segundo GLOYNA & ESPINO (1969), em lagoas facultativas, a camada supe rior com concentrações significativas de oxigênio dissolvido impede a passagem de odores de produtos finais da respiração anaeróbia para a atmosfera, já que estes materiais podem ser oxidados química ou biologicamente antes de atingirem a super fície. Em lagoas anaeróbias o controle de odores pode ser fei to através da recirculação de efluentes de estágios aeróbios. KOBAYASHI et alii (1983) investigaram o uso de bacté rias fotossintéticas do enxofre na remoção de sulfeto de hidro

gênio, chegando a resultados positivos.

2.10 - Cinética das Modificações de Formas do Enxofre

A maioria dos fenômenos do ciclo do enxofre ainda não se encontra modelada. Existem, no entanto, na literatura, elementos que podem fornecer uma idéia da velocidade das reações que envolvem compostos de enxofre, assim como fatores que aceleram ou inibem estas reações. Taxas de oxidação e redução de compostos do enxofre e taxas de fixação de CO_2 por bactérias fototróficas são exemplos dos elementos que podem ser utilizados como parâmetros para o estudo da cinética das transformações das formas de enxofre.

A temperatura constitui um dos principais agentes catalisadores dos processos de oxidação e redução dos compostos de enxofre. JØRGENSEN (1982) comparou o efeito da temperatura sobre as taxas de oxidação química e bioquímica de sulfeto na interface $\text{H}_2\text{S}-\text{O}_2$ de três ambientes naturais: Mar Negro, Lago Solar e uma massa de Beggiatoa crescendo sobre uma superfície de lodo. As maiores taxas de oxidação estiveram associadas às temperaturas mais elevadas. Desta forma, para valores de temperatura iguais a 6°C (Mar Negro), 20°C (massa de Beggiatoa) e 50°C (Lago Solar), as taxas de oxidação foram, respectivamente, $10\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $12\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ e 20 a $30\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

A oxidação bioquímica de sulfeto também pode ser acelerada pela intensidade luminosa. De acordo com estudos realizados por GUERRERO et alii (1985), as taxas de oxidação de H_2S ,

pesquisadas em dois lagos da Espanha, foram bastante afetadas pela luz. No Lago Cisõ, onde havia maior penetração de luz, a taxa de oxidação foi de $23,0 \text{ mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, enquanto que no Lago Vilar, onde as condições de iluminação eram inferiores, este valor foi de $6,8 \text{ mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. VAN GEMERDEN et alii (1985) investigaram o ciclo diário do metabolismo de bactérias púrpuras do enxofre no Lago Cisõ e verificaram que as maiores taxas de fixação de CO_2 e oxidação de sulfeto ocorreram ao meio dia, sendo iguais, respectivamente, a $21 \mu \text{ mol.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e $47 \mu \text{ mol.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ a 2m de profundidade. No entanto, a maior atividade das bactérias foi verificada no nível 1,75m onde a taxa específica de oxidação de sulfeto foi $13,3 \mu \text{ mol.mg}^{-1} \text{ peso seco.h}^{-1}$, enquanto que a 2m de profundidade foi igual a $6,2 \mu \text{ mol.mg}^{-1} \text{ peso seco.h}^{-1}$.

Elementos de cinética relativos aos processos oxidativos do enxofre também foram mencionados por TRÜPER (1964). Segundo o autor, na fotooxidação de H_2S por Chromatium okenii, o tempo gasto para a oxidação de H_2S para enxofre elementar (eq. 2.2) é cerca de 1/3 a 1/4 do tempo necessário para a oxidação quantitativa completa de sulfeto para sulfato.

Quanto ao processo de redução dissimilatória de sulfato, o aumento da temperatura resulta em maiores taxas de redução, conforme discutido no item 2.9. A presença de carbono também exerce influência no processo, constituindo-se num fator limitante da taxa de redução de sulfato (ATLAS & BARTHA, 1987). Segundo os autores, em sedimentos marinhos, as taxas de redução dissimilatória de sulfato aumentam com a adição de compostos orgânicos. MAREE & STRYDOM (1985) investigaram o uso de um reator de meio sólido e fluxo ascendente (filtro biológico

anaeróbio de fluxo ascendente) para a remoção de sulfato em águas de minas e efluentes industriais. Foi verificado que este tipo de reator exibiu maiores taxas de redução de sulfato em relação a um reator completamente misturado, tendo em vista que o meio sólido promove um maior contato das células de bactérias com o sulfato, devido à maior área superficial.

2.11 - Corrosão Bacteriana

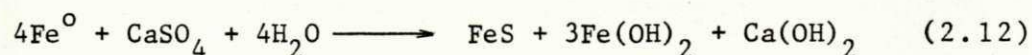
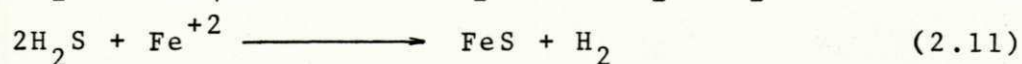
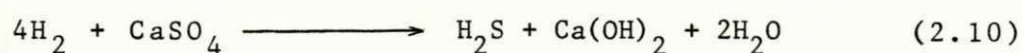
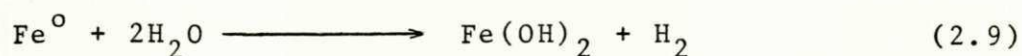
A corrosão bacteriana de ferro, aço, concreto, etc, constitui um sério problema de ordem econômica, onde grandes somas de dinheiro são empregadas tanto na prevenção quanto na substituição de peças já deterioradas (POSTGATE, 1982; HAMILTON, 1985).

A literatura ilustra vários casos de corrosão de tubos de esgotos, oleodutos, torres de refrigeração, etc.

Apesar da participação de vários microorganismos nos processos de corrosão, as bactérias redutoras de sulfato são consideradas os principais envolvidos, sendo responsáveis por aproximadamente 50% dos casos de corrosão (HAMILTON, 1985). Sua participação na corrosão de aço e ferro está relacionada à formação de ferro ferroso (BROCK et alii, 1984).

É bastante comum a corrosão de estruturas metálicas (canos, fundações) assentadas em solos que contêm sulfato. Desse modo, sob condições anaeróbias, o ferro das superfícies metálicas reage espontaneamente com a água, formando hidróxido ferroso e hidrogênio, que ficam aderidos à superfície. Por sua vez,

bactérias redutoras de sulfato, como por exemplo Desulfovibrio desulfuricans, utilizam o hidrogênio produzido como fonte de energia, formando H_2S . Através da reação química espontânea, o H_2S ataca o ferro, produzindo sulfeto ferroso e hidrogênio. No final do processo, tem-se que o ferro metálico é convertido para hidróxido ferroso e sulfeto ferroso, segundo as reações (ATLAS & BARTHA, 1987):



Além das bactérias redutoras de sulfato, outras bactérias do ciclo do enxofre podem catalisar processos de corrosão. Na presença de oxigênio, as bactérias capazes de oxidar compostos reduzidos do enxofre com produção de ácido sulfúrico provocam a deterioração de ferro e concreto. Thiobacillus constitui um bom exemplo destes organismos. O crescimento aeróbio de Thiobacillus spp resulta em altas concentrações de ácido sulfúrico e baixo pH, que são responsáveis pela corrosão de estruturas de concreto tais como tubos de esgotos (HAMILTON, 1985). A deterioração do concreto se dá pela reação do ácido sulfúrico com carbonato de cálcio (ANDERSON, 1978).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Descrição do Sistema Experimental

Para atender aos objetivos da pesquisa, foi estudado um Sistema Experimental em escala piloto, localizado na EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários), alimentado com esgoto doméstico da cidade de Campina Grande - Paraíba.

O sistema consistiu em uma série de cinco lagoas de estabilização profundas, sendo a primeira uma lagoa anaeróbia A_7 alimentada por esgoto bruto, seguida de uma lagoa facultativa secundária F_9 e três lagoas de maturação: M_7 , M_8 e M_9 .

O efluente da lagoa anaeróbia correspondia ao afluente da lagoa facultativa secundária, e assim sucessivamente, até que o efluente da última lagoa da série (M_9) era lançado em um riacho que passa nas proximidades da estação experimental. O elemento de conexão entre cada reator era um tubo de PVC com 75 mm de diâmetro. Na extremidade deste tubo, existia um retentor para impedir o fluxo de espuma de uma lagoa para outra.

Um pequeno desnível entre os reatores permitia que o fluxo, ao longo da série, se desse por gravidade.

Os reatores foram construídos em alvenaria de tijolo,

e revestidos, interna e externamente, com argamassa de cimento e areia, de forma a garantir um sistema totalmente estanque.

A figura 3.1 apresenta o Sistema Experimental estudado. Suas características físicas e operacionais estão apresentadas nos quadros 3.1 e 3.2, respectivamente.

3.2 - Alimentação do Sistema Experimental

O Sistema Experimental era alimentado, ininterruptamente, através do bombeamento de esgoto bruto. Este era captado do "Interceptor da Depuradora" por um poço úmido, situado ao lado de um dos poços de visita do interceptor. Do poço úmido, o esgoto chegava a um tanque de nível constante através de uma tubulação de recalque com o uso de uma bomba submersa do tipo FLYGT, com potência de 1,2 HP e 3380 rpm. O excedente de esgoto que chegava ao tanque de nível constante escoava para o poço úmido por gravidade. Do tanque de nível constante, o esgoto era bombeado para a primeira lagoa da série (A₇) através de uma bomba peristáltica WATSON-MARLOW modelo HRSV (Falmouth, Cornwall - England), ajustada para fornecer uma vazão de 9,216 m³.d⁻¹.

A figura 3.2 apresenta o esquema descrito acima.

3.3 - Caracterização dos Tipos de Experimentos

Na presente pesquisa foram realizados dois tipos de experimentos.

3.3.1 - Experimento I

Este experimento consistiu no monitoramento do Sistema Experimental.

Com frequência de uma a duas vezes por semana, às 8 horas da manhã, eram realizadas coletas de amostras de esgoto bruto e do efluente de cada unidade componente do Sistema.

O Experimento I foi levado a efeito no período de 25/08/87 a 18/12/87, com o levantamento dos seguintes parâmetros: concentrações de sulfato e sulfeto total, pH e temperatura das amostras.

3.3.2 - Experimento II

Este experimento teve como objetivo a determinação de diversos parâmetros ao longo da profundidade dos reatores. Foram determinadas as concentrações de sulfato, sulfeto total, oxigênio dissolvido, clorofila a, valores de pH e temperatura, além de dados meteorológicos relativos à velocidade dos ventos, radiação solar e temperatura do ar.

Com duração de 24 horas e frequência semanal, o Experimento II consistiu na coleta de amostras da coluna líquida por inteiro e de mais dez níveis ao longo da profundidade de cada reator (5, 10, 15, 20, 30, 40, 70, 100, 150 e 195 cm). As análises de oxigênio dissolvido e pH eram realizadas em todas as amostras coletadas. Os demais parâmetros são eram levantados nas amostras de coluna líquida, dos níveis 5 cm e 195 cm e mais

três níveis intermediários, selecionados visualmente, com base na presença ou ausência de algas.

As coletas eram iniciadas às 6 horas da manhã e terminavam às 6 horas da manhã do dia seguinte, sendo o intervalo entre duas coletas consecutivas igual a 4 horas.

O Experimento II foi levado a efeito no período de 19/08/87 a 29/12/87. A partir de 09/12/87, foram incluídas neste experimento as análises de enxofre elementar e bacterioclorofilas a, b, c e d nas 6 amostras selecionadas, além da determinação da Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA). A partir da referida data, foi eliminada a coleta de amostras às 2 horas da madrugada, já que em experimentos anteriores foi verificada uma similaridade com os resultados obtidos às 22 horas e 6 horas da manhã do dia seguinte.

3.4 - Coleta de Amostras

No Experimento I, as amostras de efluente eram coletadas no tubo de saída de cada reator, e o esgoto bruto era coletado no tubo de entrada da primeira lagoa da série (A₇).

Para a determinação de sulfeto total, as amostras eram coletadas em frascos de vidro com capacidade de 125 ml, enquanto que as amostras para a determinação de sulfato eram coletadas em baldes plásticos.

No Experimento II, as coletas eram realizadas utilizando-se duas séries de onze frascos cada uma. Um frasco era

utilizado para coleta de amostra da coluna líquida, e os dez restantes destinavam-se à coleta das amostras nos vários níveis distribuídos ao longo da profundidade do reator. Uma das séries era de frascos de 125 ml, e destinava-se à coleta de amostras para a determinação de sulfeto total. A outra consistia em frascos de DBO de 300 ml, e destinava-se à coleta de amostras para a determinação de oxigênio dissolvido, pH, sulfato e clorofila a. Na segunda fase do Experimento II, uma terceira série de frascos de 300 ml foi utilizada para as análises de enxofre elementar e bacterioclorofilas.

Para a realização das coletas do Experimento II, foi utilizada uma plataforma de coleta situada no centro da lagoa, a aproximadamente 20 cm da superfície líquida. Esta consistia em um abrigo de madeira com divisões internas, no interior do qual encontravam-se uma bomba peristáltica para coleta de amostras e um teletermômetro para medição de temperatura. O abrigo apoiava-se sobre trilhos de ferro e era protegido por uma cobertura plástica. O acesso aos equipamentos instalados no abrigo era realizado através de um estrado de madeira, também apoiado sobre os trilhos, estes, por sua vez apoiados sobre as paredes laterais do reator.

A bomba peristáltica utilizada era do tipo MHRE 100, marca WATSON-MARLOW LIMITED (Falmouth, Cornwall - England), provida de dez canais de coleta. A bomba succionava as amostras através de tubos de silicone com 5 mm de diâmetro, que por sua vez se distribuíam ao longo da profundidade da lagoa, fixados a uma haste de alumínio perfurada nos níveis mencionados no item 3.3.2.

A haste tinha três metros de comprimento, secção transversal quadrada, posicionada de modo que a extremidade dos tubos de sucção ficasse voltada para a direção do afluente. Para a haste se manter na posição vertical no interior do reator, era fixada a um bloco de concreto com 15 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A figura 3.3 ilustra a plataforma de coleta descrita acima.

Antes de cada coleta, era dada uma descarga de aproximadamente 3 minutos, com a finalidade de esgotar todo o líquido remanescente da coleta anterior, de modo a não haver interferência nas análises. Esta descarga era dada dentro de um recipiente, para não provocar turbulência no interior da lagoa.

A coleta de amostra da coluna líquida, por inteiro, era realizada com o auxílio de um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 3 m de comprimento, provido de um dispositivo de abertura e fechamento numa das extremidades. O tubo era introduzido perpendicularmente à superfície da lagoa, com o dispositivo aberto, até a profundidade de dois metros. Em seguida, o dispositivo era fechado com o auxílio de um cabo de aço, e o tubo era retirado da lagoa. O líquido coletado era então vertido em um balde plástico de onde retiravam-se as amostras para análise. A coleta da amostra da coluna d'água era realizada após a coleta das amostras dos diferentes níveis, de maneira a não causar perturbações no interior da massa líquida.

Durante a coleta, eram realizadas medições de intensidade de radiação solar, velocidade do vento, RSFA e temperatura.

Num relatório de coleta, ficavam registradas as in

formações relativas às condições climáticas, ao aspecto da lagoa, ao aspecto das amostras, etc.

Terminada a coleta, as amostras eram levadas para o laboratório de físico-química, onde eram feitas as análises.

3.5 - Métodos Analíticos

3.5.1 - Temperatura

No Experimento I, a temperatura das amostras era determinada durante a coleta com uso de um termômetro de filamento de mercúrio, marca INCOTERM, com escala de -10°C a $+160^{\circ}\text{C}$.

No Experimento II, a temperatura da amostra de coluna líquida era determinada com o mesmo termômetro especificado acima, enquanto que, nas diferentes profundidades do reator, a temperatura era determinada através de um teletermômetro YSI, modelo 44 TD. O teletermômetro dispunha de doze canais de medição de temperatura. Quatorze sensores eram distribuídos ao longo da profundidade da massa líquida através de uma haste de alúminio, idêntica à descrita no item 3.4. Dois destes sensores determinavam a temperatura do ar, e os doze restantes distribuíam-se nas seguintes profundidades: 10, 15, 25, 40, 55, 70, 85, 100, 115, 130, 160 e 190 cm.

3.5.2 - Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido foram deter

minadas através de um medidor de oxigênio YSI, modelo 54 ABP, com eletrodo de membrana seletiva, de acordo com as recomendações do Standard Methods (1985).

3.5.3 - pH

Os valores de pH foram determinados através do Método do Potenciométrico descrito no Standard Methods (1985), com a utilização de um medidor de pH PYE UNICAM-PW 9418 com eletrodo combinado PYE UNICAM.

3.5.4 - Sulfato

As concentrações de sulfato foram determinadas de acordo com o Método Turbidimétrico descrito no Standard Methods (1985). Foi utilizado um espectrofotômetro MICRONAL, modelo B382. Uma curva de calibração (absorbância x concentrações de sulfato) foi determinada sob as condições recomendadas pelo método.

3.5.5 - Sulfeto total

As concentrações de sulfeto total foram determinadas de acordo com o Método do Azul de Metileno, com o pré-tratamento das amostras como descrito no Standard Methods (1985), que consistia na precipitação e remoção do sobrenadante, para elimi

nação de interferências.

Para as leituras de absorvância, foi utilizado o es
perctrofotômetro anteriormente especificado.

3.5.6 - Enxofre elementar

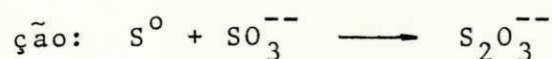
As concentrações de enxofre elementar foram determi
nadas através do método de JØRGENSEN et alii (1979), modifica
do. O novo procedimento seguido foi:

- filtrar 50 ml da amostra através de membrana MILLI
PORE HAWG 047SO com poros de 0,45 μm ;
- colocar a membrana em um tubo McCartney contendo
10 ml de solução de sulfito de sódio 5%;

OBS: Para evitar o contato da solução com o reves
timento interno de borracha da tampa, foi uti
lizado papel alumínio sob a mesma.

- autoclavar durante duas horas, a 100°C;

OBS: Durante este tratamento, ocorre a seguinte rea



- deixar esfriar;
- adicionar 1 ml de acetato de zinco 2%, para precipi
tar os polissulfetos;
- transferir o conteúdo para um tubo de centrífuga
de 50 ml e completar com água de três lavagens do
tubo de McCartney;

- centrifugar por 10 minutos a 810 g;
- transferir o sobrenadante para frascos erlenmeyer de 125 ml;
- adicionar, sob agitação, 0,5 ml de formaldeído 36%, 1,0 ml de ácido acético glacial, 0,5 ml de solução indicadora de amido 1% e 5,0 ml de solução de iodo 10 mM;
- titular com tiossulfato de sódio 10 mM;
- incluir uma prova em branco.

As concentrações de enxofre elementar foram calculadas pela expressão:

$$S^{\circ} \text{ (mg S.l}^{-1}\text{)} = \frac{(V_{tpb} - V_{tpv})}{V_a} \cdot N_t \cdot 16000$$

onde: V_{tpb} = volume de tiossulfato gasto na titulação da prova em branco

V_{tpv} = volume de tiossulfato gasto na titulação da prova verdadeira

N_t = normalidade do tiossulfato (10 mN)

V_a = volume de amostra filtrado (50 ml)

3.5.7 - Clorofila a

A determinação de clorofila a foi realizada de acordo com o método descrito no Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters (1971). O procedimento utilizado consistiu em:

- filtrar 20 ml de uma suspensão de carbonato de magnésio 0,1%, em papel de filtro quantitativo FRAMEx;

OBS: A finalidade do $MgCO_3$ é tornar o meio alcali
no.

- filtrar 50 ml da amostra;
- transferir os papéis de filtro para tubos de cen
trífuga e adicionar 7,0 ml do extrator (acetona
90%);
- manter os tubos à temperatura de $4^{\circ}C$, no escuro,
durante 16 horas;
- macerar os papéis de filtro com bastão de vidro e
submeter os tubos à centrifugação por 2 minutos, a
810 g;
- transferir o sobrenadante para uma cuveta de quart
zo de 1,0 cm de espaço interno;
- fazer leituras de absorbância a 663 nm e 750 nm, u
tilizando o espectrofotômetro especificado no item
3.5.4;

OBS: 663 nm - comprimento de onda melhor absorvido
pela clorofila a

750 nm - comprimento de onda melhor absorvido
pelo material em suspensão

- acidificar as amostras com duas gotas de ácido clo
rídrico 4N, homogeneizar e fazer leituras de absor
bância a 663 nm e 750 nm;

OBS: Todas as leituras de absorbância foram reali
zadas contra uma prova em branco de acetona
90%.

As concentrações de clorofila a foram calculadas pe

la expressão:

$$\text{Clorof. } \underline{a} (\mu\text{g.l}^{-1}) = 2,43 \cdot (\text{ODO} - \text{ODA}) \cdot \frac{1000 \cdot \text{vol. do extrator (ml)}}{K \cdot \text{vol. filtrado (l)}}$$

onde: ODO = diferença entre as absorbâncias a 663 nm e 750 nm, antes da acidificação das amostras

ODA = diferença entre as absorbâncias a 663 nm e 750 nm, depois da acidificação das amostras

K = coeficiente de extinção da clorofila a (89)

3.5.8 - Bacterioclorofilas a, b, c e d

Para a determinação de bacterioclorofilas, as amostras foram submetidas ao mesmo tratamento descrito no item 3.5.7; porém, após a adição do extrator, as mesmas foram ultrasonificadas por 10 minutos, segundo recomendação de TAKAHASHI & ICHIMURA (1968). A ultra-sonificação das amostras foi realizada em um Ultrasonic Cleaner, modelo ME 4.6 106M3324 da Mettler Electronics Corp., Califórnia - EUA.

As leituras de absorbância a 654 nm, 662 nm, 772 nm e 850 nm foram realizadas com uso do espectrofotômetro e da cuvette mencionados anteriormente.

As concentrações de bacterioclorofilas foram determinadas através das seguintes equações (JONES, 1979):

$$\text{Bacterioclorofilas } \underline{a} \text{ } \underline{b} (\mu\text{g.l}^{-1}) = \frac{V_e}{V_a} \cdot \frac{(25,2)}{1} \cdot A_{772}^{850}$$

$$\text{Bacterioclorofila } \underline{c} (\mu\text{g.l}^{-1}) = \frac{V_e}{V_a} \cdot \frac{(10,2)}{1} \cdot A_{654}^{850}$$

$$\text{Bacterioclorofila } \underline{d} \text{ } (\mu\text{g.l}^{-1}) = \frac{V_e}{V_a} \cdot \frac{(10,8)}{1} \cdot A_{662}^{850}$$

onde: V_e = volume do extrator (acetona 90%), em ml

V_a = volume filtrado da amostra, em l

l = espaço interno da cuveta

A_{772}^{850} = diferença entre as leituras de absorvância a 772 nm e 850 nm

A_{654}^{850} = diferença entre as leituras de absorvância a 654 nm e 850 nm

A_{662}^{850} = diferença entre as leituras de absorvância a 662 nm e 850 nm

3.5.9 - Velocidade do vento

A velocidade do vento foi determinada com auxílio de um anemômetro. As leituras eram realizadas a cada coleta, e a velocidade média entre duas coletas consecutivas era calculada da seguinte forma:

$$V.V. (\text{km.h}^{-1}) = \frac{L(i) - L(i-1)}{t}$$

onde: $L(i)$ = leitura indicada no anemômetro na coleta de ordem i , (km)

$L(i-1)$ = leitura indicada no anemômetro na coleta de ordem $i-1$, (km)

t = intervalo de tempo entre as duas leituras consecutivas, (h)

3.5.10 - Intensidade de radiação solar

A intensidade de radiação solar era determinada a cada coleta através de um Integrador de Radiação Gunn-Bellani (Baird & Tatlock - England).

3.5.11 - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)

O equipamento utilizado na medição de RSFA era do tipo CRUMP-QUANTUM-RADIOMETER-PHOTOMETER, cat. nº 550 da Ramsden Scientific Instrument Co. Ltd. (Essex - England).

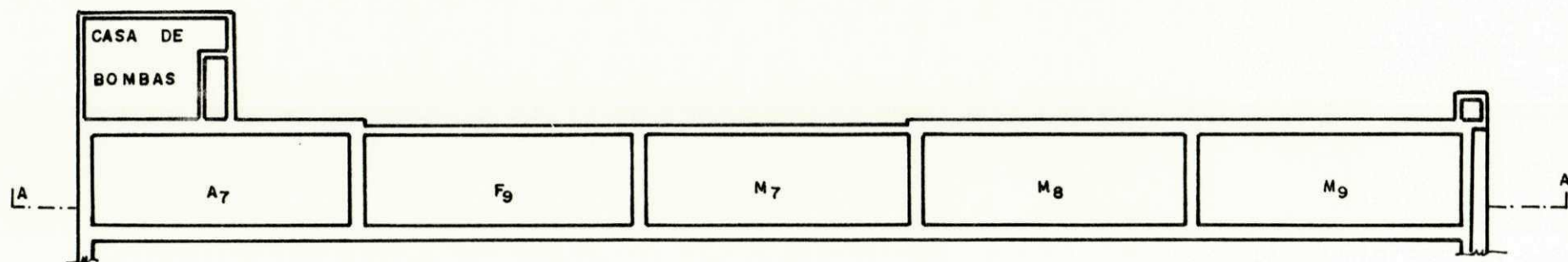
As determinações eram realizadas através de um sensor ajustado a um suporte e, por meio de um cabo, conectado ao medidor, onde eram feitas as leituras em $\text{micro-Einstein} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$. O sensor era imerso, gradativamente, no interior da massa líquida, a cada 5 cm, até a profundidade na qual a leitura fosse nula. A RSFA também era determinada na superfície da lagoa.

Quadro 3.1 - Características Físicas do Sistema Experimental

REATOR	DIMENSÕES (m)			ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
	COMPRIMENTO	LARGURA	PROFUNDIDADE		
A ₇	10,0	3,35	2,20	33,5	73,7
F ₉	10,0	3,35	2,20	33,5	73,7
M ₇	10,0	3,35	2,20	33,5	73,7
M ₈	10,0	3,35	2,20	33,5	73,7
M ₉	10,0	3,35	2,20	33,5	73,7

Quadro 3.2 - Características Operacionais do Sistema Experimental

REATOR	VAZÃO (m ³ /d)	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA (d)	CARGA ORG. SUPERFICIAL (kg DBO ₅ /ha.d)	CARGA ORG. VOLUMÉTRICA (g DBO ₅ /m ³ .d)
A ₇	9,216	8	343,9	15,63
F ₉	9,216	8	140,3	6,38
M ₇	9,216	8	85,3	3,88
M ₈	9,216	8	57,8	2,62
M ₉	9,216	8	16,5	0,75



PLANTA BAIXA
 ESC. — 1:250

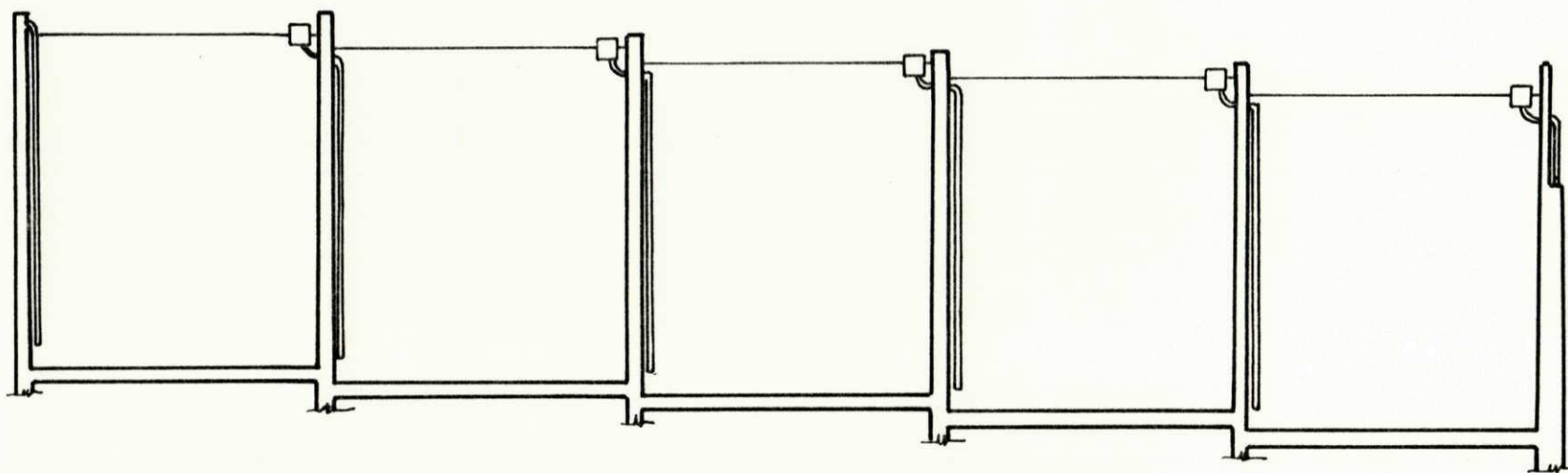


FIG. 3.1—SISTEMA DE LAGOAS EM SÉRIE UTILIZADO NA PESQUISA

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

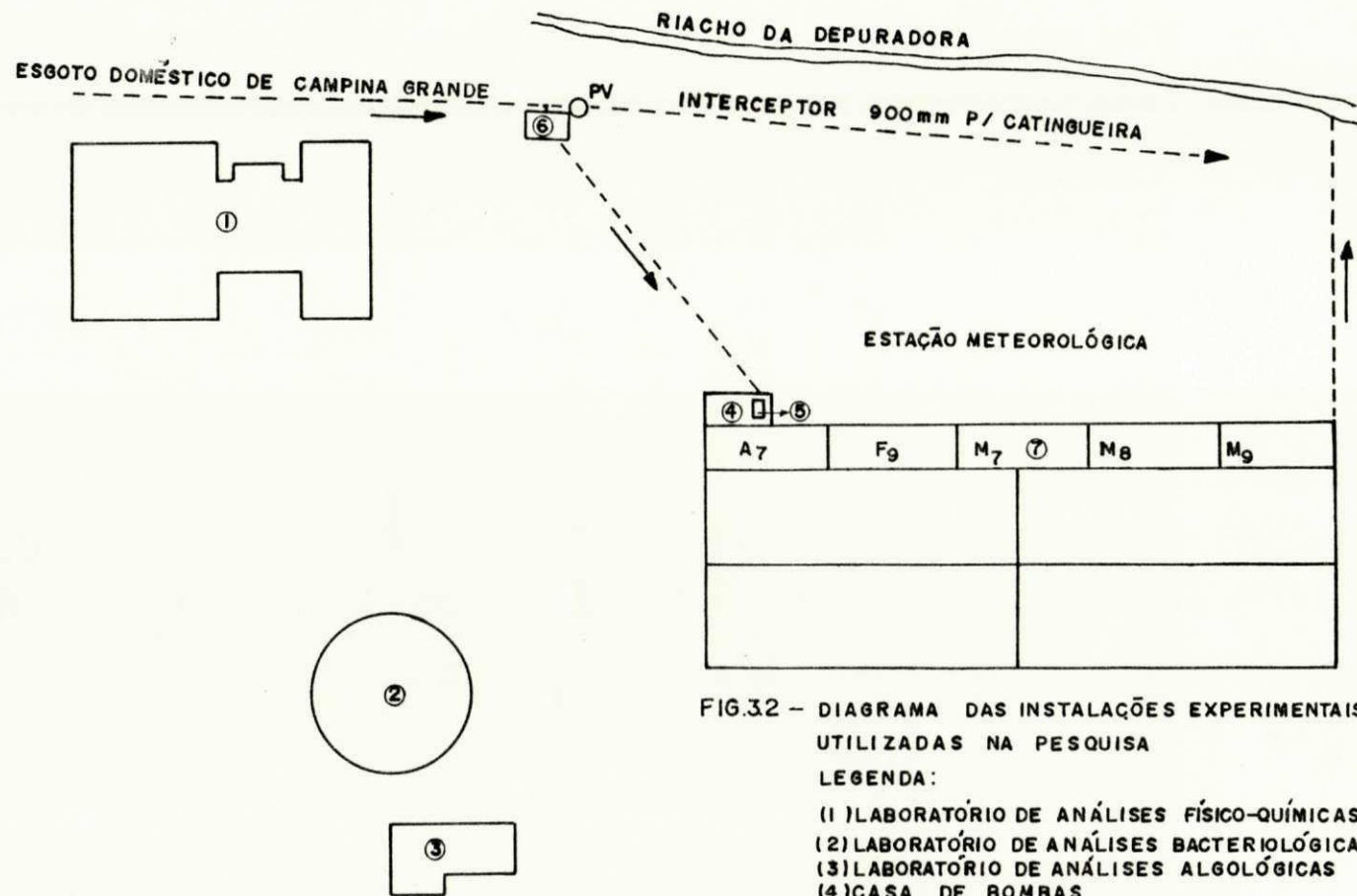


FIG.32 - DIAGRAMA DAS INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS UTILIZADAS NA PESQUISA

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

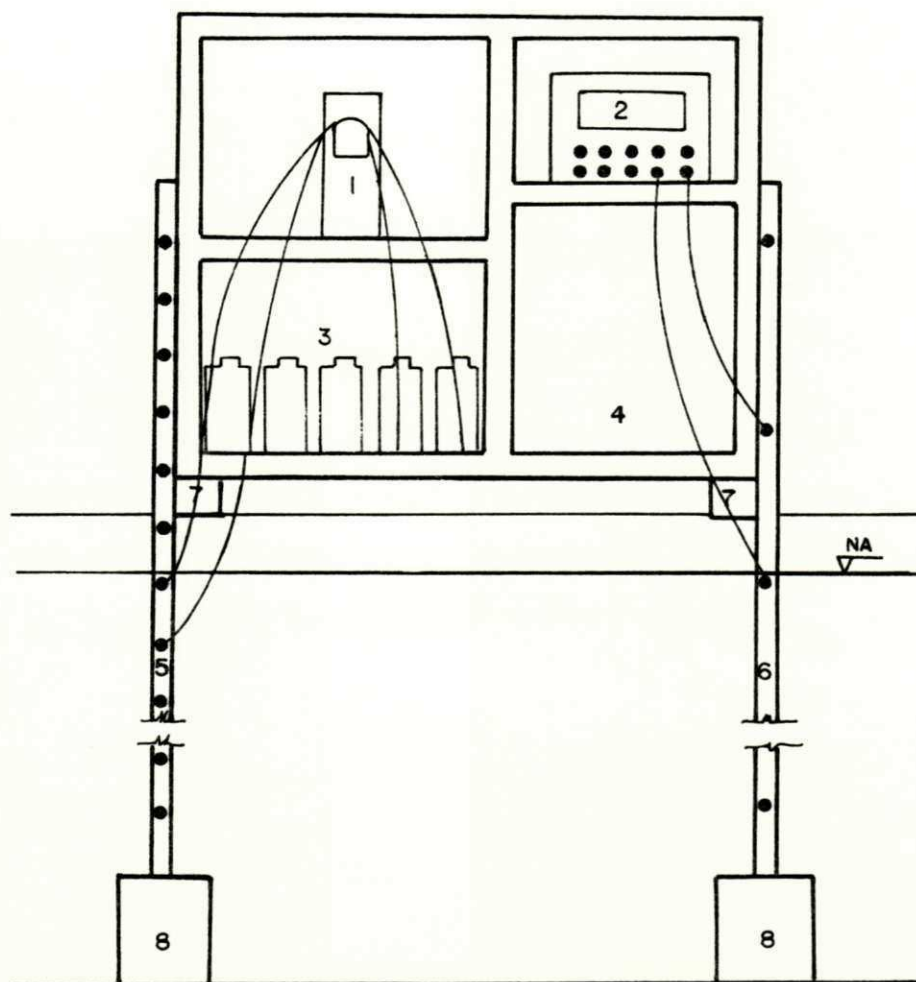


FIG.3.3-REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PLATAFORMA DE COLETA

- (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 SUCCÃO EM DIFERENTES NÍVEIS
- (6) HASTE P/ FIXAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA EM DIFERENTES NÍVEIS
- (7) TRILHOS DE FERRO
- (8) BLOCOS DE CONCRETO

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Experimento I

Os dados relativos ao Experimento I encontram-se a apresentados na forma de gráficos, nas figuras 4.1 a 4.6, baseados nas médias móveis de amostras diárias três a três, e na figura 4.7, baseados nas médias aritméticas.

Durante o período de monitoramento, o esgoto bruto que alimentava a lagoa anaeróbia A₇ apresentou uma certa uniformidade de comportamento. As variações das concentrações das formas de enxofre não foram significativas ao longo do tempo (figura 4.1). As concentrações médias de sulfato e sulfeto total foram, respectivamente, $14,40 \pm 0,80 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $0,50 \pm 0,4 \text{ mg S.l}^{-1}$. O pH e a temperatura das amostras, durante o período experimental, foram $7,6 \pm 0,1$ e $28,5 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

A lagoa anaeróbia A₇ caracterizou-se pela acentuada predominância de enxofre na forma de sulfeto total, cuja concentração média foi de $11,60 \pm 1,20 \text{ mg S.l}^{-1}$. As concentrações de sulfato ficaram em torno de $2,50 \pm 2,90 \text{ mg S.l}^{-1}$ (figura 4.2). Os valores médios de pH e temperatura característicos deste reator foram respectivamente $7,1 \pm 0,2$ e $26,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$.

A lagoa facultativa secundária F₉ apresentou concencon

trações de enxofre na forma de sulfeto total superiores às de sulfato. Todavia, foi observada uma certa tendência destas concentrações se igualarem, não obstante algumas vezes a concentração de sulfato tenha excedido a de sulfeto total (figura 4.3). Pode-se observar ainda que, neste reator, o processo de oxidação do enxofre já se inicia, uma vez que a concentração média de sulfato ($5,40 \pm 3,2 \text{ mg S.l}^{-1}$) aumenta e a de sulfeto total ($8,60 \pm 1,50 \text{ mg S.l}^{-1}$) diminui, em relação à lagoa anaeróbia A_7 (figura 4.7). Os valores médios de pH e temperatura da lagoa facultativa F_9 foram respectivamente $7,4 \pm 0,2$ e $25,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram, respectivamente, o comportamento das concentrações de formas de enxofre nas lagoas de maturação M_7 , M_8 e M_9 . Estes três reatores caracterizaram-se pela predominância de enxofre na forma de sulfato, com relação ao sulfeto total.

A primeira lagoa de maturação (M_7) apresentou valores médios de sulfato e sulfeto total, durante o período experimental, iguais a $11,30 \pm 1,10 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $2,20 \pm 1,10 \text{ mg S.l}^{-1}$, respectivamente. Neste reator, a temperatura média foi igual a $25,9^\circ\text{C} \pm 0,3^\circ\text{C}$, enquanto que o valor médio de pH foi $7,7 \pm 0,2$.

As concentrações médias de enxofre nas formas de sulfato e sulfeto total, na lagoa de maturação M_8 , foram, respectivamente, $12,30 \pm 0,9 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $0,10 \pm 0,10 \text{ mg S.l}^{-1}$. Os valores médios de pH e temperatura, neste reator, foram $7,9 \pm 0,2$ e $26,0 \pm 0,6^\circ\text{C}$, respectivamente.

A última lagoa da série, lagoa de maturação M_9 , foi a que apresentou o comportamento mais uniforme, durante o período

do experimental (figura 4.6). Neste reator, as concentrações de enxofre na forma de sulfeto total foram praticamente nulas ($0,05 \pm 0,05 \text{ mg S.l}^{-1}$), enquanto que as de sulfato mantiveram-se em níveis elevados ($13,00 \pm 0,60 \text{ mg S.l}^{-1}$). Quanto ao pH e à temperatura, os respectivos valores médios foram: $8,0 \pm 0,2$ e $26,2 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

4.2 - Experimento II

Foram realizados treze experimentos do tipo II, sendo dois na lagoa anaeróbia A_7 , dois na lagoa facultativa secundária F_9 e três em cada lagoa de maturação (M_7 , M_8 e M_9).

Os dados meteorológicos de radiação solar e velocidade média dos ventos, relativos ao Experimento II, estão apresentados nos quadros 4.1 e 4.2.

4.2.1 - Lagoa anaeróbia A_7

No primeiro reator do Sistema Experimental, foram realizados os experimentos 8 e 9.

No experimento 8, o céu esteve parcialmente nublado, tendo sido registrada a ocorrência de chuva no primeiro horário de coleta. A superfície da lagoa apresentou-se coberta de espuma. A máxima temperatura do ar foi $36,5^{\circ}\text{C}$ (14h) e a mínima foi $22,0^{\circ}\text{C}$ (6h e 22h). A temperatura do reator variou de $28,5^{\circ}\text{C}$, valor observado às 14h no nível 5 cm, a $26,0^{\circ}\text{C}$, valor ob

servado em vários níveis e horários de coleta. O pH máximo durante o experimento foi 8,1, verificado às 10h e às 14h no nível 20 cm, e às 18h no nível 150 cm. O pH mínimo foi 7,2, ocorrido às 18h no nível 40 cm. Durante todo o experimento, o reator esteve completamente anaeróbico.

Durante o experimento 9, o céu também esteve parcialmente nublado, e a superfície da lagoa completamente coberta de espuma. A temperatura do ar variou de 22,0°C (valor registrado, no primeiro dia de experimento, às 6 horas da manhã e às 22h, e, no segundo dia, às 2 horas da madrugada e 6 horas da manhã) a 31,5°C (valor registrado às 14h). A temperatura máxima da lagoa durante o experimento 9 foi 28,0°C, observada às 14h na camada mais superficial (5 cm), e a mínima foi 26,0°C, observada em vários níveis e horários de coleta. A faixa de variação de pH foi de 7,0 a 7,9, e o máximo valor foi verificado às 14h no nível 70 cm, e o mínimo às 22h, 2h e 6 horas da manhã do dia seguinte, em vários níveis. Neste experimento também foram observadas condições de anaerobiose.

As figuras 4.8 e 4.9 ilustram as variações de pH, oxigênio dissolvido e temperatura na lagoa anaeróbia A₇ durante os experimentos 8 e 9, respectivamente.

4.2.1.1 - Sulfato

A lagoa anaeróbia A₇, em ambos os experimentos, caracterizou-se por apresentar pequenas concentrações de enxofre

na forma de sulfato, ao longo da profundidade. As maiores concentrações foram verificadas na camada superficial, nos horários de maior radiação solar (10h e 14h). Neste reator, as variações das concentrações de sulfato, ao longo da coluna líquida, não foram acentuadas, e estão apresentadas nas figuras 4.10 e 4.11, referentes aos experimentos 8 e 9.

Às 6 horas da manhã, no experimento 8, a concentração de sulfato foi praticamente a mesma em todos os níveis da lagoa, sendo seu valor médio igual a $1,41 \text{ mg S.l}^{-1}$. No experimento 9, as concentrações variaram de $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ a $1,47 \text{ mg S.l}^{-1}$, valores observados respectivamente na superfície (5 cm) e no fundo do reator (195 cm). Nos níveis intermediários (30 cm, 40 cm e 150 cm), a concentração foi igual a $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$.

Nos horários seguintes, 10h e 14h, no experimento 8, o nível 5 cm apresentou concentrações iguais a $2,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $4,40 \text{ mg S.l}^{-1}$, respectivamente. Abaixo de 5 cm, as concentrações ficaram em torno de $1,10 \text{ mg S.l}^{-1}$, às 10h, e, às 14h, passaram a $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$ no nível 15 cm e a $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ a partir de 30 cm de profundidade. No experimento 9, às 10h e 14h, a concentração de sulfato no nível 5 cm foi igual a $1,73 \text{ mg S.l}^{-1}$. Abaixo de 5 cm, variaram de $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ (100 cm) a $1,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ (40 cm e 195 cm), às 10h, e, às 14h, foram iguais a $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$, com exceção do nível 100 cm, que apresentou concentração nula.

No experimento 8, às 18h, a máxima concentração foi $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida nas camadas representativas da superfície (5 cm) e do fundo do reator (195 cm). No nível 30 cm, a concentração foi nula. No experimento 9, até 40 cm de profundi

dade, a concentração de sulfato foi $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$. A máxima e mínima concentrações neste horário foram, respectivamente, $1,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ (195 cm) e $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ (100 cm).

Em ambos os experimentos, às 22h, a concentração de sulfato variou de $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ a $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$. No experimento 8, a concentração nula ocorreu no nível 195 cm e a máxima no nível 70 cm. No experimento 9, a concentração nula foi verificada nos níveis 20 cm e 100 cm, enquanto que a máxima ocorreu na superfície (5 cm) e no fundo da lagoa (195 cm).

Às 2 horas da madrugada, no experimento 8, a faixa de variação foi de $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$, valor observado na maioria dos níveis analisados (5 cm, 150 cm e 195 cm), a $1,47 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrido nos níveis 30 cm e 70 cm. Neste horário, no experimento 9, com exceção dos níveis 20 cm e 40 cm, que apresentaram concentrações de $0,93 \text{ mg S.l}^{-1}$, as concentrações de sulfato foram nulas.

No último horário de coleta, 6 horas da manhã do segundo dia, a maior concentração de sulfato no experimento 8 foi $1,27 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida a 30 cm de profundidade. Nos níveis 70 cm e 150 cm, a concentração foi nula. Quanto ao experimento 9, igualmente ao horário anterior, na maioria dos níveis analisados, a concentração foi nula (20 cm, 40 cm e 100 cm). O maior valor foi $1,27 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrido no fundo do reator (195 cm).

As figuras 4.12 e 4.13, relativas aos experimentos 8 e 9, apresentam as variações das concentrações de sulfato, no ciclo diário, nas camadas representativas da superfície (5 cm) e do fundo do reator (195 cm).

Em ambos os experimentos, as maiores concentrações de sulfato no nível 5 cm foram verificadas às 10h e 14h, e as menores no período noturno e às 6 horas da manhã. No experimento 8, a máxima concentração foi $4,40 \text{ mg S.l}^{-1}$ (14h) e a mínima foi $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ (22h e 6 horas da manhã do dia seguinte). No experimento 9, a maior concentração no nível 5 cm foi $1,73 \text{ mg S.l}^{-1}$, verificada às 10h e às 14h. Às 2 horas da manhã a concentração de sulfato foi nula.

No fundo do reator (195 cm), nos experimentos 8 e 9, as variações das concentrações de sulfato foram menores do que aquelas do nível 5 cm. O experimento 8 apresentou concentrações variando entre $1,47 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6 horas da manhã do primeiro dia) e $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ (22h). No experimento 9, neste nível, as concentrações também variaram de $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ (2h) a $1,47 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6h).

4.2.1.2 - Sulfeto total

Nos dois experimentos realizados na lagoa anaeróbia A₇, o sulfeto total foi a forma de enxofre predominante em todos os níveis e horários de coleta. Suas variações ao longo da profundidade da massa líquida, durante os experimentos 8 e 9, estão indicadas nas figuras 4.10 e 4.11, respectivamente.

No experimento 8, às 6 horas da manhã, no nível 5 cm, a concentração de $12,75 \text{ mg S.l}^{-1}$ foi a menor do horário. No nível 20 cm, ocorreu a máxima concentração de sulfeto total do horário e de todo o experimento, sendo seu valor igual a $14,06$

mg S.l⁻¹. Abaixo de 40 cm, as concentrações foram praticamente constantes e próximas a 13,47 mg S.l⁻¹. No experimento 9, às 6 horas da manhã foi verificada a maior variação de concentração de sulfeto total ao longo da profundidade da massa líquida, no ciclo diário, onde a mínima e a máxima concentrações foram, respectivamente, 7,96 mg S.l⁻¹ (5 cm) e 14,86 mg S.l⁻¹ (40 cm).

Às 10 horas, as concentrações variaram de 10,17 mg S.l⁻¹ (5 cm) a 12,90 mg S.l⁻¹ (100 cm), no experimento 8. No experimento 9, a mínima concentração de sulfeto total foi 11,76 mg S.l⁻¹, verificada na superfície do reator (5 cm), aumentando ao longo da profundidade da massa líquida e chegando ao valor máximo, 15,02 mg S.l⁻¹, no fundo da lagoa. Esta última foi a maior concentração observada durante o experimento 9.

No experimento 8, às 14h, foi verificada a maior variação de concentração ao longo da profundidade do reator. O menor valor foi 8,63 mg S.l⁻¹, ocorrido no nível 5 cm, e o maior, 12,42 mg S.l⁻¹, ocorrido no nível 15 cm. No experimento 9, a mínima e máxima concentrações foram 8,57 mg S.l⁻¹ e 13,11 mg S.l⁻¹, observadas nos níveis 5 cm e 100 cm, respectivamente.

Às 18h, no experimento 8 as concentrações de sulfeto total situaram-se entre 11,24 mg S.l⁻¹ (100 cm) e 12,44 mg S.l⁻¹ (150 cm) e, no experimento 9, variaram de 10,48 mg S.l⁻¹ (5 cm) a 13,04 mg S.l⁻¹ (40 cm).

No horário seguinte, 22h, em ambos os experimentos foi verificada a menor variação de concentração de sulfeto total no ciclo diário, ao longo da profundidade do reator. No experimento 8, as concentrações ficaram em torno de 11,88 mg

$S.l^{-1}$, e, no experimento 9, no nível 5 cm a concentração foi $12,21 \text{ mg } S.l^{-1}$, ficando em torno de $13,79 \text{ mg } S.l^{-1}$, a partir de 30 cm de profundidade.

Às 2 horas da manhã, as concentrações de sulfeto total variaram de $11,57 \text{ mg } S.l^{-1}$ (30 cm) a $13,20 \text{ mg } S.l^{-1}$ (5 cm) no experimento 8, enquanto que no experimento 9 as concentrações máxima e mínima foram respectivamente $14,03 \text{ mg } S.l^{-1}$ (195 cm) e $12,16 \text{ mg } S.l^{-1}$ (100 cm).

No último horário de coleta, no experimento 8, as concentrações ficaram em torno de $11,40 \text{ mg } S.l^{-1}$, com exceção dos níveis 5 cm e 70 cm, cujas concentrações foram $12,44 \text{ mg } S.l^{-1}$ e $12,71 \text{ mg } S.l^{-1}$, respectivamente. No experimento 9, neste horário, as concentrações diminuíram ao longo da coluna líquida, onde o maior valor foi $13,80 \text{ mg } S.l^{-1}$ (5 cm) e o menor foi $11,33 \text{ mg } S.l^{-1}$ (195 cm).

As figuras 4.12 e 4.13, relativas aos experimentos 8 e 9, apresentam as variações de concentrações de sulfeto total no período de 24 horas, nos níveis 5 cm e 195 cm.

No experimento 8, as maiores concentrações no nível 5 cm foram verificadas no período noturno e às 6 horas da manhã do primeiro e segundo dias de experimento. As concentrações máxima e mínima foram respectivamente $13,20 \text{ mg } S.l^{-1}$ (2h) e $8,63 \text{ mg } S.l^{-1}$ (14h). Neste experimento, o nível 195 cm não exibiu grandes variações no ciclo diário. Na maior parte dos horários, as concentrações estiveram em torno de $11,70 \text{ mg } S.l^{-1}$. A máxima e mínima concentrações foram $13,63 \text{ mg } S.l^{-1}$ (6h) e $11,45 \text{ mg } S.l^{-1}$ (22h), respectivamente.

No experimento 9, as variações de sulfeto total foram mais acentuadas que no experimento 8, tanto na superfície quanto no fundo da lagoa. No nível 5 cm, no experimento 9, as concentrações situaram-se entre $7,86 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $13,80 \text{ mg S.l}^{-1}$, valores observados respectivamente às 6 horas da manhã do primeiro e segundo dias de experimento. Quanto ao nível 195 cm, a faixa de variação foi de $10,48 \text{ mg S.l}^{-1}$ (18h) a $15,02 \text{ mg S.l}^{-1}$ (10h).

4.2.1.3 - Clorofila a

As distribuições das concentrações de clorofila a ao longo da profundidade da lagoa nos experimentos 8 e 9 encontram-se apresentadas nas figuras 4.8 e 4.9, respectivamente.

Em ambos os experimentos realizados na lagoa anaeróbia A₇, praticamente não foram observadas variações das concentrações de clorofila a ao longo da profundidade do reator, nos seguintes horários: 6 horas da manhã, 2h e 6 horas da manhã do segundo dia. Nos dois experimentos, a concentração média de clorofila a nos horários acima referidos foi respectivamente igual a $20,4 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, $18,0 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ e $16,5 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 10h e 14h, em ambos os experimentos as maiores concentrações de clorofila a ocorreram nas camadas superiores. No experimento 8, às 10h, os maiores valores foram $40,1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, $57,3 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ e $35,0 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, observados respectivamente nos níveis 5 cm, 20 cm e 40 cm. A mínima concentração foi $12,7 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, verificada no nível 100 cm. Neste horário, no experimento

9, as maiores concentrações foram $89,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $47,1 \mu\text{g.l}^{-1}$, verificadas nos níveis 5 cm e 20 cm, respectivamente. Entre os níveis 40 cm e 195 cm, as concentrações ficaram em torno de $12,9 \mu\text{g.l}^{-1}$. No horário seguinte, 14h, no experimento 8, a concentração de clorofila a na superfície foi $34,4 \mu\text{g.l}^{-1}$. No nível 15 cm passou para $80,3 \mu\text{g.l}^{-1}$, que correspondeu à maior concentração observada neste experimento, enquanto que a mínima, $4,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu a 100 cm de profundidade. No experimento 9, às 14h também foi observada a maior concentração de clorofila a, ocorrida na camada mais superficial da lagoa, sendo igual a $115,3 \mu\text{g.l}^{-1}$. No nível 15 cm, esta concentração foi de $52,9 \mu\text{g.l}^{-1}$, e abaixo de 40 cm ficou em torno de $8,9 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 18h, no experimento 8, a concentração no nível 5 cm foi $17,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e passou a $30,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 30 cm. Abaixo desta profundidade, as concentrações diminuíram, chegando a $7,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no fundo do reator. Neste horário, no experimento 9, até 20 cm de profundidade as concentrações ficaram em torno de $47,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, diminuindo ao longo da massa líquida, e, nos últimos 100 cm, foram constantes e iguais a $9,6 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 22h, no experimento 8, o nível 5 cm apresentou a maior concentração, $24,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, a qual diminuiu ao longo da profundidade, chegando a $9,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no fundo da lagoa. Neste horário, as concentrações de clorofila a no experimento 9 variaram de $5,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $14,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, valores observados nos níveis 195 cm e 100 cm, respectivamente.

4.2.2 - Lagoa facultativa secundária F₉

Dois experimentos (1 e 10) foram realizados neste reator.

O experimento 1 foi realizado sob as seguintes condições: céu parcialmente nublado, superfície da lagoa com muita espuma e temperatura do ar variando entre 17,5°C (6 horas da manhã do segundo dia) e 28,5°C (14h). A temperatura da massa líquida variou de 23,5°C a 26,5°C, onde o menor valor ocorreu no último horário de coleta, a 160 cm e 190 cm de profundidade, e o maior às 14h, na superfície da lagoa. O pH máximo, 8,2, foi verificado às 6 horas da manhã, no nível 5 cm, e o mínimo, 7,3, foi observado nos três últimos horários de coleta, em vários níveis do reator. As condições de anaerobiose predominaram durante este experimento. A concentração mais expressiva de oxigênio dissolvido foi observada às 14h, a 5 cm de profundidade, sendo seu valor igual a 1,6 mg O₂.l⁻¹.

O experimento 10 se deu sob as seguintes condições: dia de sol intenso, espuma em alguns pontos da superfície da lagoa e temperatura do ar variando entre 32,5°C (10h e 14h) e 22,0°C (22h). A temperatura máxima do reator foi 31,0°C, registrada às 14h, no nível 5 cm, e a mínima foi 25,0°C, verificada às 6 horas da manhã do primeiro e segundo dias de experimento. Os valores de pH variaram entre 7,2 e 7,7, observados respectivamente no primeiro horário de coleta, nos níveis 30 cm e 40 cm, e às 18h, nos primeiros 30 cm de profundidade. Quanto às concentrações do oxigênio dissolvido, às 14h, até 15 cm de profundidade, estiveram em torno de 2,5 mg O₂.l⁻¹. Às 18h, entre os ní

veis 5 cm e 20 cm, as concentrações variaram de $6,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ a $5,6 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. Nos demais níveis e horários de coleta, as concentrações de oxigênio dissolvido foram insignificantes ($0,1 - 0,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) e muitas vezes nulas, características de ambientes anaeróbios.

As variações de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, ao longo da profundidade da lagoa F₉, durante os experimentos 1 e 10, estão ilustradas nas figuras 4.14 e 4.15, respectivamente.

4.2.2.1 - Sulfato

A lagoa facultativa secundária F₉ caracterizou-se por apresentar grandes variações das concentrações de sulfato, ao longo da profundidade, no ciclo diário. Estas variações estão ilustradas nas figuras 4.16 e 4.17 referentes aos experimentos 1 e 10.

No experimento 1, às 6 horas da manhã, as concentrações de sulfato variaram entre $0,33 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (valor observado no nível 150 cm) e $3,27 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (valor observado no nível 5 cm). Às 10h, 14h e 18h, foram verificadas na camada mais superficial do reator (5 cm), as maiores concentrações de sulfato no ciclo diário, sendo seus respectivos valores iguais a $9,47 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$, $10,73 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ e $7,53 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$. Abaixo da camada superficial, as concentrações foram menores, e variaram entre: $0,33 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (195 cm) e $4,27 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (15 cm) às 10h, $0,33 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (100 cm) e $5,07 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (195 cm) às 14h e $0,33 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$ (195

cm) e $3,07 \text{ mg S.l}^{-1}$ (100 cm e 150 cm) às 18h. Neste experimento, às 22h, a máxima concentração de sulfato foi $3,33 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida no nível 195 cm, e a mínima foi $0,80 \text{ mg S.l}^{-1}$, verificada no nível 150 cm. Às 2 horas da manhã, as amostras apresentaram as mais baixas concentrações de sulfato, variando de $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ (195 cm) a $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$ (5 cm). No último horário de coleta, a concentração de sulfato não variou ao longo da profundidade do reator, e em todos os níveis seu valor foi $1,20 \text{ mg S.l}^{-1}$.

No experimento 10, no primeiro e último horários de coleta, as concentrações de sulfato ao longo da profundidade da lagoa apresentaram uniformidade em torno de $5,20 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $6,50 \text{ mg S.l}^{-1}$, respectivamente. Às 10h, um aumento das concentrações com relação ao horário anterior foi observado principalmente no nível 5 cm. Neste horário, a máxima e mínima concentrações de sulfato foram respectivamente $8,13 \text{ mg S.l}^{-1}$ (5 cm) e $5,47 \text{ mg S.l}^{-1}$ (70 cm). Nos horários seguintes, 14h e 18h, nos primeiros 40 cm de profundidade ocorreram as maiores concentrações de sulfato do ciclo diário, ficando em torno de $11,60 \text{ mg S.l}^{-1}$. Abaixo desta profundidade, as concentrações diminuíram, chegando a $3,60 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $1,27 \text{ mg S.l}^{-1}$, no fundo do reator (195 cm), respectivamente às 14h e 18h. Às 22h, até 70 cm de profundidade, as concentrações de sulfato foram significativas e em torno de $10,60 \text{ mg S.l}^{-1}$. Entre 70 cm e 100 cm, um brusco decréscimo desta concentração foi observado, e no nível 195 cm, a concentração chegou a zero. Logo, diferentemente do experimento 1, anteriormente descrito, as elevadas concentrações de sulfato, no experimento 10, não ficaram limitadas à camada mais superficial nem aos horários de maior radiação solar.

A variação das concentrações de sulfato, no ciclo diário, nas amostras dos níveis 5 cm e 195 cm, foram bastante acentuadas neste reator (figuras 4.18 e 4.19).

As maiores concentrações no nível 5 cm, durante o experimento 1, foram verificadas às 10h, 14h e 18h. A máxima concentração foi $10,73 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida às 14h. Os menores valores foram observados no período noturno e às 6 horas da manhã, sendo a mínima concentração, $0,33 \text{ mg S.l}^{-1}$, verificada às 2 horas da madrugada. No nível 195 cm, as variações de sulfato foram menos acentuadas durante o ciclo diário, e as concentrações estiveram entre $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ (2h) e $5,07 \text{ mg S.l}^{-1}$ (14h).

No experimento 10, a camada representativa da superfície da lagoa (5 cm) também apresentou a maior concentração de sulfato às 14h, sendo seu valor igual a $12,03 \text{ mg S.l}^{-1}$. Neste nível, a menor concentração ocorreu às 6 horas da manhã do primeiro dia, sendo igual a $5,20 \text{ mg S.l}^{-1}$. Neste experimento, a camada mais superficial da lagoa apresentou uma variação da concentração de sulfato de $6,83 \text{ mg S.l}^{-1}$. Um gradiente comparável a este pôde ser observado no fundo do reator (195 cm), onde as concentrações variaram de $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ a $6,57 \text{ mg S.l}^{-1}$, valores verificados às 22h e 6 horas da manhã do dia seguinte, respectivamente.

4.2.2.2 - Sulfeto total

Esta forma de enxofre, assim como o sulfato, apresentou grandes variações de concentrações ao longo da profundida

de da lagoa facultativa F_9 , durante o ciclo diário (figuras 4.16 e 4.17).

No experimento 1, o sulfeto total foi a forma de enxofre predominante em todos os níveis do reator, às 6 horas da manhã do primeiro e segundo dias de experimento, e no período noturno. Nestes horários, nos quais a lagoa se encontrou sob o efeito de mistura, foram observadas as menores variações das concentrações de sulfeto total, ao longo da profundidade da massa líquida. Às 6 horas da manhã, as concentrações variaram de 13,29 mg S.l⁻¹ (70 cm) a 15,72 mg S.l⁻¹ (150 cm), enquanto que às 6 horas da manhã do dia seguinte a máxima e mínima concentrações foram respectivamente 13,16 mg S.l⁻¹ (30 cm) e 10,46 mg S.l⁻¹ (5 cm). Às 22h, entre 5 cm e 150 cm, as concentrações ficaram em torno de 10,80 mg S.l⁻¹, diminuindo para 8,85 mg S.l⁻¹ no nível 195 cm. Às 2 horas da madrugada, em toda a profundidade do reator, as concentrações distribuíram-se uniformemente em torno de 13,12 mg S.l⁻¹. Ao contrário do comportamento do enxofre na forma de sulfato, as menores concentrações de sulfeto total ocorreram na camada mais superficial da massa líquida, às 10h, 14h e 18h. Nestes horários, até aproximadamente 15 cm de profundidade, o sulfato foi a forma de enxofre predominante. Um brusco aumento das concentrações de sulfeto total foi observado nos primeiros 15-40 cm de profundidade, nos horários acima referidos, passando a ser esta a forma de enxofre predominante nas camadas subjacentes. Deste modo, às 10 horas da manhã, a concentração de sulfeto total no nível 5 cm foi 1,92 mg S.l⁻¹, aumentando para 14,28 mg S.l⁻¹ no nível 15 cm. Abaixo desta profundidade, as variações foram pequenas, ficando as concentrações entre 16,84 mg S.l⁻¹ (40 cm) e 15,10 mg S.l⁻¹

(195 cm). Às 14h, a concentração de sulfeto total no nível 5 cm foi $0,66 \text{ mg S.l}^{-1}$, no nível 20 cm passou a $10,88 \text{ mg S.l}^{-1}$, e nas camadas subjacentes ficou em torno de $13,52 \text{ mg S.l}^{-1}$. Um aumento de $0,24 \text{ mg S.l}^{-1}$ para $11,53 \text{ mg S.l}^{-1}$ ocorreu às 18h, entre os níveis 5 cm e 40 cm. Neste horário, foi verificado o maior gradiente de concentração ($14,27 \text{ mg S.l}^{-1}$), o qual ocorreu entre os níveis 5 cm ($0,24 \text{ mg S.l}^{-1}$) e 150 cm ($14,51 \text{ mg S.l}^{-1}$).

No experimento 10, às 6 horas da manhã, o sulfeto total foi a forma de enxofre predominante no reator, com exceção do nível 195 cm, cuja concentração ($4,57 \text{ mg S.l}^{-1}$) foi inferior à de sulfato ($4,90 \text{ mg S.l}^{-1}$). Nos demais níveis, neste horário, as concentrações de sulfeto total ficaram próximas a $8,60 \text{ mg S.l}^{-1}$. Às 10 horas da manhã, até 15 cm de profundidade a concentração média de sulfeto total foi $1,58 \text{ mg S.l}^{-1}$. No nível 40 cm, aumentou para $6,32 \text{ mg S.l}^{-1}$, ficando em torno de $8,35 \text{ mg S.l}^{-1}$ a partir de 70 cm de profundidade. Neste experimento, às 14h e 18h, até 40 cm de profundidade, as concentrações ficaram próximas a zero. Abaixo de 40 cm foi observado um aumento destas concentrações, as quais passaram a aproximadamente $8,98 \text{ mg S.l}^{-1}$ a partir de 70 cm, e a $9,57 \text{ mg S.l}^{-1}$ a partir do nível 150 cm, respectivamente às 14h e 18h. Às 22h, nos primeiros 30 cm de profundidade, a concentração de sulfeto total foi próxima a $1,96 \text{ mg S.l}^{-1}$. No nível 70 cm, passou a $5,06 \text{ mg S.l}^{-1}$, ficando praticamente constante e em torno de $10,58 \text{ mg S.l}^{-1}$, a partir do nível 100 cm até o fundo do reator. Às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento, ao longo de toda a profundidade da massa líquida, as concentrações de sulfeto total foram maiores que as de sulfato, situando-se em torno de $8,97 \text{ mg S.l}^{-1}$.

Uma análise das amostras dos níveis 5 cm e 195 cm, dos experimentos realizados na lagoa facultativa F₉, revelou que, assim como as concentrações de sulfato, as concentrações de sulfeto total variaram bastante no ciclo diário (figuras 4.18 e 4.19).

No experimento 1, as maiores concentrações de sulfeto total no nível 5 cm foram verificadas às 6 horas da manhã e no período noturno. A máxima concentração neste nível, 13,98 mg S.l⁻¹, ocorreu às 2 horas da madrugada. A mínima, 0,24 mg S.l⁻¹, foi observada às 18h. Quanto ao nível 195 cm, as variações foram menores durante o período de 24 horas. Neste nível, as concentrações de sulfeto total ficaram em torno de 13,60 mg S.l⁻¹, com exceção da máxima e da mínima concentrações, cujos valores foram respectivamente 15,01 mg S.l⁻¹ (10h) e 8,85 mg S.l⁻¹ (22h).

Durante o experimento 10, as variações das concentrações de sulfeto total nos níveis 5 cm e 195 cm foram menores que aquelas do experimento 1. Na camada mais superficial (5 cm), as concentrações diminuíram entre 6h e 18h respectivamente de 7,94 mg S.l⁻¹ para 0,02 mg S.l⁻¹, aumentando em seguida até seu máximo valor, 8,85 mg S.l⁻¹, às 6 horas da manhã do dia seguinte. No nível 195 cm, as concentrações de sulfeto total variaram entre 4,57 mg S.l⁻¹ e 10,53 mg S.l⁻¹, valores observados respectivamente às 6h e 22h.

4.2.2.3 - Enxofre elementar

Na lagoa facultativa F₉, o enxofre elementar foi de

terminado durante o experimento 10, no qual foram observadas baixas concentrações (figura 4.17). Os maiores valores foram registrados às 6 horas da manhã, nos níveis 40 cm ($2,62 \text{ mg S.l}^{-1}$) e 70 cm ($2,66 \text{ mg S.l}^{-1}$); às 10h, no nível 40 cm ($1,44 \text{ mg S.l}^{-1}$), e às 14h, também no nível 40 cm ($1,25 \text{ mg S.l}^{-1}$). Concentrações nulas ocorreram às 10h e 14h, no nível 5 cm.

4.2.2.4 - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)

Durante o experimento 10, foram realizadas determinações da RSFA ao longo da coluna líquida (figura 4.17). O maior valor foi observado na superfície da lagoa, às 10 horas da manhã, sendo igual a $1.600 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Neste horário, até 135 cm de profundidade ainda pôde ser detectada RSFA ($0,01 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$). Abaixo deste nível, os valores foram nulos.

4.2.2.5 - Clorofila a

As variações das concentrações de clorofila a durante os experimentos 1 e 10 estão indicadas nas figuras 4.14 e 4.15, respectivamente.

No experimento 1, foi observada uma uniformidade das concentrações ao longo da profundidade do reator em torno de $75,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, $57,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, $49,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $64,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ respectivamente nos horários de 6h, 22h, 2h e 6 horas da manhã do segundo dia. Durante o dia, nas camadas superiores, ocorreram as

maiores concentrações. Às 10 horas da manhã, os níveis 5 cm e 15 cm apresentaram valores de $477,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $84,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Abaixo de 15 cm, as concentrações foram de aproximadamente $47,2 \mu\text{g.l}^{-1}$. Às 14h, concentrações em torno de $107,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ ocorreram até 20 cm de profundidade. Nas camadas subjacentes, variaram entre $51,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ (40 cm) e $30,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (100 cm). Concentrações de $100,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $138,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ ocorreram às 18h, respectivamente nos níveis 5 cm e 40 cm. Abaixo de 40 cm de profundidade, as concentrações diminuíram, chegando a $16,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 195 cm.

No experimento 10, a concentração de clorofila a, ao longo da profundidade da lagoa, às 6h, variou entre $49,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (70 cm) e $72,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (20 cm). Às 10h e 14h, ocorreu a maior concentração durante o ciclo diário, que foi $130,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, verificada nos níveis 40 cm e 30 cm, respectivamente. Nestes dois horários, ao contrário do experimento anterior, a concentração de clorofila a na camada superficial (5 cm) foi baixa e igual a $34,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ às 10h e a $15,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ às 14h. A menor concentração deste pigmento ocorreu às 18h e 22h respectivamente nos níveis 30 cm e 5 cm, sendo seu valor igual a $3,8 \mu\text{g.l}^{-1}$. Nestes horários, baixas concentrações foram verificadas até aproximadamente 40 cm, as quais aumentaram ao longo da profundidade, ficando em torno de $47,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ às 18h e $63,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ às 22h, nos últimos 100 cm da lagoa. Às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento, a concentração média de clorofila a foi de $34,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ até o nível 20 cm e de $52,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ nos níveis subjacentes.

4.2.2.6 - Bacterioclorofilas

Na lagoa facultativa F₉, a bacterioclorofila d predominou em relação às demais (a, b e c). As bacterioclorofilas a e b foram as mais escassas neste reator (figura 4.20).

No primeiro horário de coleta, as bacterioclorofilas distribuíram-se de maneira bastante uniforme ao longo da profundidade da lagoa. As bacterioclorofilas a e b apresentaram uniformidade em torno de $10,1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Quanto às bacterioclorofilas c e d, as concentrações médias foram respectivamente iguais a $40,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $50,4 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 10h, as concentrações de bacterioclorofilas a e b foram nulas, exceto nos níveis 15 cm e 40 cm, cujos valores foram respectivamente $10,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $14,1 \mu\text{g.l}^{-1}$. As bacterioclorofilas c e d, neste horário, exibiram a maior concentração durante o experimento, sendo seus respectivos valores iguais a $97,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $122,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, ambos ocorridos no nível 40 cm. É importante observar que a concentração de clorofila a, neste horário e nível (10h - 40 cm), também foi máxima.

Às 14h, a faixa de variação de bacterioclorofilas a e b foi de $3,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (30 cm) a $10,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm). A variação de bacterioclorofila c foi de $5,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (30 cm) a $67,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (70 cm), neste horário. Quanto à bacterioclorofila d, a faixa de variação foi maior, sendo a máxima concentração $83,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, valor ocorrido no nível 70 cm, e a mínima $6,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, valor verificado na camada mais superficial (5 cm).

No horário seguinte, 18h, as concentrações de bacte

rioclorofilas a e b foram nulas no nível 30 cm. Neste horário, a máxima concentração destes pigmentos, $17,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu no nível 40 cm. Com relação às bacterioclorofilas c e d, nos primeiros 30 cm de profundidade a concentração média foi $10,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $13,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Nas camadas subjacentes aumentaram, ficando em torno de $37,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $47,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d) a partir de 150 cm de profundidade.

Às 22h, as concentrações de bacterioclorofilas a e b ficaram próximas a $21,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção do nível 100 cm, em que a concentração foi $9,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. Neste horário, as concentrações de bacterioclorofilas c e d distribuíram-se de forma semelhante ao horário anterior, ou seja, as menores concentrações ocorreram nos níveis superiores e as maiores nas camadas inferiores. Até 40 cm de profundidade, as concentrações de bacterioclorofila c foram em média $22,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ e de bacterioclorofila d $29,2 \mu\text{g.l}^{-1}$. A partir do nível 100 cm, estas concentrações aumentaram para valores em torno de $55,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $71,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

Às 6 horas da manhã do dia seguinte, as bacterioclorofilas distribuíram-se em torno de um valor médio em toda a profundidade da lagoa a partir de 20cm. Este valor médio foi igual a $26,4 \mu\text{g.l}^{-1}$, para as bacterioclorofilas a e b, $48,4 \mu\text{g.l}^{-1}$, para bacterioclorofila c e $62,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, para bacterioclorofila d. Na camada mais superficial (5 cm), as concentrações foram menores e iguais a $17,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, $34,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $48,4 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente para as bacterioclorofilas a e b, c e d.

4.2.3 - Lagoa de maturação M_7

Na lagoa de maturação M_7 foram levados a efeito os experimentos 6, 7 e 11.

Os experimentos 6 e 7 foram realizados em dias parcialmente nublados, enquanto que no experimento 11 o céu esteve totalmente nublado.

A superfície da lagoa não apresentou espuma durante o experimento 6. Nos experimentos 7 e 11, entretanto, foi observada a ocorrência de espuma na superfície líquida, principalmente no experimento 11, onde ficou caracterizado o florescimento de algas.

A temperatura máxima do ar foi observada às 14h, sendo igual a $29,0^{\circ}\text{C}$, $28,5^{\circ}\text{C}$ e $31,0^{\circ}\text{C}$ nos experimentos 6, 7 e 11, respectivamente. Durante a noite e às 6 horas da manhã, foram verificadas as menores temperaturas do ar, onde a mínima foi $20,5^{\circ}\text{C}$ (6h e 2h) no experimento 6, $20,0^{\circ}\text{C}$ (6h) no experimento 7 e $22,0^{\circ}\text{C}$ (22h) no experimento 11.

Nos três experimentos, a temperatura máxima da lagoa foi observada às 14h na camada superficial (5 cm), sendo igual a $29,5^{\circ}\text{C}$ (exp. 6), $26,5^{\circ}\text{C}$ (exp. 7) e $29,0^{\circ}\text{C}$ (exp. 11). Nos experimentos 6 e 11, a temperatura mínima do reator foi $25,0^{\circ}\text{C}$, que, no experimento 6, ocorreu em vários níveis e horários de coleta, e no experimento 11 ocorreu às 18h e 22h, em vários níveis do reator. Durante o experimento 7, a temperatura mínima da lagoa foi $24,0^{\circ}\text{C}$, verificada em todos os níveis às 2 horas da manhã, e a partir do nível 70 cm às 6 horas da manhã do se

gundo dia.

Os valores de pH no experimento 6 variaram de 7,2 a 8,3. O pH máximo ocorreu às 18h nos níveis 10 cm e 15 cm, e o mínimo às 14h nos níveis 70 cm e 150 cm. No experimento 7, o pH máximo e o mínimo foram respectivamente 8,8 e 7,5, sendo ambos verificados às 14h, nos níveis 5 cm e 150 cm. A faixa de variação de pH no experimento 11 foi de 7,6 a 8,3. O pH mínimo ocorreu às 6 horas da manhã nos primeiros 20 cm de profundidade, e o máximo às 14h nos primeiros 10 cm.

Nos três experimentos, as maiores concentrações de oxigênio dissolvido ocorreram às 10h, 14h e 18h, nas camadas superiores. Nos demais horários de coleta, prevaleceram condições de anaerobiose. A máxima concentração de oxigênio dissolvido nos experimentos 6, 7 e 11, foi verificada às 14h, sendo igual a $11,3 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (30 cm), $8,7 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (10 cm) e $8,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (30 cm), respectivamente.

As figuras 4.21, 4.22 e 4.23, correspondentes aos experimentos 6, 7 e 11 respectivamente, ilustram a distribuição da temperatura, pH e oxigênio dissolvido ao longo da profundidade da massa líquida.

4.2.3.1 - Sulfato

Na lagoa de maturação M₇, o sulfato foi a forma de enxofre predominante em todos os níveis e horários de coleta. As variações das concentrações de sulfato ao longo da coluna líquida, nos experimentos 6, 7 e 11, estão ilustradas nas figu

ras 4.24, 4.25 e 4.26, respectivamente.

No primeiro e no último horário de coleta, nos três experimentos, as concentrações de sulfato praticamente não variaram ao longo da profundidade do reator. A concentração média desta forma de enxofre, nestes horários, foi $9,58 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 6, e $11,16 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 11. No experimento 7, as concentrações de sulfato ficaram em torno de $10,99 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $9,39 \text{ mg S.l}^{-1}$ às 6 horas do primeiro e segundo dias de experimento, respectivamente.

Às 10 horas da manhã, a maior concentração ocorreu na camada superficial (5 cm), sendo igual a $12,83 \text{ mg S.l}^{-1}$, $12,47 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $12,43 \text{ mg S.l}^{-1}$, respectivamente nos experimentos 6, 7 e 11. De uma maneira geral, abaixo desta profundidade as concentrações de sulfato diminuíram. No experimento 6, a partir de 30 cm a concentração média foi $9,88 \text{ mg S.l}^{-1}$. No experimento 7, a menor concentração ocorreu no nível 100 cm, sendo igual a $10,40 \text{ mg S.l}^{-1}$. No experimento 11, as concentrações diminuíram desde a superfície até o fundo do reator, onde a concentração foi $11,00 \text{ mg S.l}^{-1}$.

No horário seguinte, 14h, nos experimentos 6 e 7 foi verificada a maior variação da concentração do sulfato no ciclo diário. A máxima concentração foi observada no nível 5 cm e a mínima no nível 195 cm, sendo seus respectivos valores $12,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $8,87 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 6, e $12,77 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $9,47 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 7. Neste horário, as concentrações de sulfato variaram de $12,37 \text{ mg S.l}^{-1}$ (5 cm) a $10,93 \text{ mg S.l}^{-1}$ (100 cm), no experimento 11.

Até 30 cm de profundidade, às 18h, nos experimentos 6 e 11 as concentrações foram próximas a $12,40 \text{ mg S.l}^{-1}$. Abaixo deste nível diminuíram, chegando a $9,20 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $10,77 \text{ mg S.l}^{-1}$ no fundo do reator, respectivamente nos experimentos 6 e 11. No experimento 7 as concentrações variaram de $9,40 \text{ mg S.l}^{-1}$ (195 cm) a $12,23 \text{ mg S.l}^{-1}$ (5 cm), neste horário.

Às 22h, no experimento 6, até o nível 70 cm a concentração média de sulfato foi $11,94 \text{ mg S.l}^{-1}$. Abaixo de 70 cm as concentrações diminuíram, atingindo o mínimo valor, $9,23 \text{ mg S.l}^{-1}$, no nível 195 cm. No experimento 7, valores próximos a $10,10 \text{ mg S.l}^{-1}$ ocorreram até o nível 40 cm. A máxima e a mínima concentrações foram respectivamente $12,70 \text{ mg S.l}^{-1}$ (100 cm) e $9,4 \text{ mg S.l}^{-1}$ (195 cm). No experimento 11, as concentrações praticamente não variaram ao longo da coluna líquida, ficando em torno de $11,10 \text{ mg S.l}^{-1}$.

No experimento 6, às 2 horas da madrugada a máxima concentração de sulfato foi verificada no nível 5 cm, sendo igual a $10,47 \text{ mg S.l}^{-1}$. Entre 30 cm e 70 cm, ficaram próximas a $9,85 \text{ mg S.l}^{-1}$, e no nível 195 cm ocorreu a menor concentração, $7,13 \text{ mg S.l}^{-1}$. Neste horário, no experimento 7 as concentrações ficaram em torno de $9,62 \text{ mg S.l}^{-1}$ em toda a profundidade do reator.

As figuras 4.27, 4.28 e 4.29 relativas aos experimentos 6, 7 e 11 ilustram o comportamento das concentrações de sulfato nos níveis 5 cm e 195 cm no ciclo diário.

Foi observado nos três experimentos que na camada superficial as maiores concentrações de sulfato foram verifica

das às 10h, 14h e 18h, com valor médio de $12,46 \text{ mg S.l}^{-1}$. As menores concentrações ocorreram às 6 horas da manhã dos primeiro e segundo dias de experimento e à noite. A mínima concentração nos experimentos 6, 7 e 11 foi respectivamente $9,53 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6h), $9,77 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6 horas da manhã do segundo dia) e $10,90 \text{ mg S.l}^{-1}$ (22h). No fundo da lagoa (195 cm), durante o experimento 6 as concentrações variaram de $7,13 \text{ mg S.l}^{-1}$ (2h) a $10,07 \text{ mg S.l}^{-1}$ (10h). Durante os experimentos 7 e 11, as concentrações de sulfato, neste nível, ficaram em torno de $9,79 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $11,13 \text{ mg S.l}^{-1}$, respectivamente.

4.2.3.2 - Sulfeto total

As figuras 4.24, 4.25 e 4.26 apresentam a distribuição das concentrações de sulfeto total nos diferentes níveis da lagoa de maturação M_7 , durante os experimentos 6, 7 e 11, respectivamente.

Nos experimentos 7 e 11, no primeiro e último horários de coleta as concentrações praticamente não variaram ao longo da profundidade da lagoa. Nos horários acima referidos a concentração média de sulfeto total foi respectivamente $3,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $3,73 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 7, e $2,26 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $2,87 \text{ mg S.l}^{-1}$ no experimento 11. Quanto ao experimento 6, às 6 horas da manhã do primeiro dia as leituras de absorbância não foram satisfatórias, e às 6 horas da manhã do dia seguinte as concentrações de sulfeto total variaram de $1,62 \text{ mg S.l}^{-1}$ (5 cm) a $3,62 \text{ mg S.l}^{-1}$ (150 cm).

Nos horários de maior radiação solar, o sulfeto total apresentou as maiores variações ao longo da profundidade da massa líquida. Às 10h, 14h e 18h, nos três experimentos, foram observadas nas camadas superiores concentrações nulas ou próximas a este valor, que aumentaram ao longo da profundidade do reator.

No experimento 6, às 10 horas da manhã, a concentração de sulfeto total no nível 5 cm foi nula, e nas camadas subjacentes aumentou, chegando ao máximo valor, $5,18 \text{ mg S.l}^{-1}$, no nível 195 cm. No experimento 7, até 15 cm de profundidade a concentração foi nula, e abaixo de 40 cm praticamente não variou, apresentando uma concentração média de $3,93 \text{ mg S.l}^{-1}$. No experimento 11, até o nível 15 cm as concentrações ficaram em torno de $0,04 \text{ mg S.l}^{-1}$; ao longo de toda a profundidade ocorreu um aumento da concentração que atingiu o valor máximo, $2,73 \text{ mg S.l}^{-1}$, no fundo do reator.

Às 14h, no experimento 6, foram verificadas concentrações nulas até 40 cm de profundidade. A partir de 100 cm, as concentrações variaram pouco e apresentaram um valor médio de $4,12 \text{ mg S.l}^{-1}$. Nos experimentos 7 e 11, as concentrações de sulfeto total na superfície líquida (5 cm) foram respectivamente $0,00 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $0,02 \text{ mg S.l}^{-1}$. O aumento destas concentrações foi verificado ao longo da coluna líquida, onde o maior valor foi observado no nível 195 cm, sendo igual a $4,18 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $2,66 \text{ mg S.l}^{-1}$ nos experimentos 7 e 11, respectivamente.

No horário seguinte, 18h, foram verificadas concentrações nulas nos primeiros 30 cm e 20 cm de profundidade nos experimentos 6 e 7, respectivamente. A concentração máxima no

experimento 6 foi $6,12 \text{ mg S.l}^{-1}$, e no experimento 7 foi $3,63 \text{ mg S.l}^{-1}$, ambas verificadas no nível 195 cm. Neste horário, no experimento 11, até 30 cm de profundidade, a concentração de sulfeto total foi $0,04 \text{ mg S.l}^{-1}$, chegando ao máximo valor, $3,25 \text{ mg S.l}^{-1}$, no fundo da lagoa.

Às 22h, no experimento 6, até o nível 70 cm, as concentrações foram próximas a $0,70 \text{ mg S.l}^{-1}$. A partir desta profundidade, aumentaram, atingindo $5,79 \text{ mg S.l}^{-1}$ no nível 195 cm. Neste horário as concentrações de sulfeto total nos experimentos 7 e 11 foram próximas a $2,51 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $2,25 \text{ mg S.l}^{-1}$ respectivamente, em todos os níveis da massa líquida.

No experimento 6, às 2 horas da manhã, concentrações em torno de $2,24 \text{ mg S.l}^{-1}$ foram verificadas até o nível 70 cm as quais aumentaram com a profundidade, chegando a $4,96 \text{ mg S.l}^{-1}$ no nível 195 cm. Neste horário, no experimento 7, a faixa de variação das concentrações de sulfeto total foi de $0,96 \text{ mg S.l}^{-1}$ (195 cm) a $3,37 \text{ mg S.l}^{-1}$ (40 cm).

O comportamento das concentrações de sulfeto total, nos níveis 5 cm e 195 cm durante os experimentos 6, 7 e 11, está indicado nas figuras 4.27, 4.28 e 4.29, respectivamente.

Ao contrário do sulfato, no nível 5 cm, entre 10h e 18h foram verificadas as menores concentrações de sulfeto total. Nestes horários, nos experimentos 6 e 7, as concentrações foram nulas, e, no experimento 11, próximas a $0,04 \text{ mg S.l}^{-1}$. As maiores concentrações ocorreram à noite e às 6 horas da manhã, sendo iguais a $2,35 \text{ mg S.l}^{-1}$ (2h), $3,54 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $2,94 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6 horas da manhã do segundo dia) respectivamente nos ex

perimentos 6, 7 e 11. No nível 195 cm, no experimento 6, as concentrações variaram de $2,63 \text{ mg S.l}^{-1}$ a $6,12 \text{ mg S.l}^{-1}$, sendo o menor valor verificado às 6 horas da manhã do segundo dia, e o maior às 18h. No experimento 7, as concentrações de sulfeto total ficaram em torno de $3,72 \text{ mg S.l}^{-1}$ durante todo o período, com exceção do horário de 2 horas da madrugada, que apresentou $0,96 \text{ mg S.l}^{-1}$. Quanto ao experimento 11, as concentrações praticamente não variaram no ciclo diário, onde o valor médio foi $2,72 \text{ mg S.l}^{-1}$.

4.2.3.3 - Enxofre elementar

A distribuição das concentrações do enxofre elementar ao longo da profundidade da lagoa, durante o experimento 11, está ilustrada na figura 4.26.

Na maioria das amostras analisadas, as concentrações foram baixas e muitas vezes nulas. As maiores concentrações de enxofre elementar neste experimento foram: $1,06 \text{ mg S.l}^{-1}$ (10h - 195 cm), $2,40 \text{ mg S.l}^{-1}$ (14h - 100 cm), $1,22 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $1,02 \text{ mg S.l}^{-1}$. Estas duas últimas ocorreram às 6 horas da manhã do segundo dia nos níveis 5 cm e 195 cm, respectivamente.

Uma análise das amostras dos níveis 5 cm e 195 cm (figura 4.29), demonstrou que no fundo da lagoa as concentrações de enxofre elementar foram ligeiramente maiores que na superfície, na maioria dos horários.

4.2.3.4 - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)

Durante o experimento 11, foi determinada a RSFA incidente na massa líquida, onde o maior valor foi $440 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$, observado às 10h na superfície da lagoa. A profundidade máxima atingida pela RSFA foi 105 cm, onde foi registrado $1 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ às 10h e 14h. Nestes horários, abaixo de 105 cm as leituras foram nulas (figura 4.26).

4.2.3.5 - Clorofila a

As figuras 4.21, 4.22 e 4.23, relativas aos experimentos 6, 7 e 11, indicam as variações das concentrações de clorofila a ao longo da profundidade do reator.

De um modo geral, nos três experimentos, a distribuição de clorofila a ao longo da profundidade da massa líquida não apresentou grandes variações no período noturno e às 6 horas da manhã. As maiores concentrações no ciclo diário foram observadas nos horários de maior radiação solar (10h e 14h), entre os níveis 15 cm e 40 cm. Nestes horários, as menores concentrações foram verificadas no nível 5 cm, e a partir de 100 cm de profundidade as concentrações praticamente não variaram.

Às 6 horas da manhã, no experimento 6, as concentrações de clorofila a ficaram em torno de $63,3 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 7, até 150 cm de profundidade a concentração média foi de $76,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, aumentando para $105,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 195 cm. No expe

rimento 11, as concentrações de clorofila a apresentaram uniformidade em torno de $32,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção do nível 195 cm, cuja concentração foi $19,1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No horário seguinte, 10h, no experimento 6, a menor concentração foi $17,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ observada no nível 5 cm, enquanto que os maiores valores, $395,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $182,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, foram verificados nos níveis 20 cm e 30 cm, respectivamente. Nos últimos 100 cm, a concentração média foi de $54,2 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 7, a mínima concentração de clorofila a, $21,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu no nível 5 cm. Nos níveis 15 cm e 40 cm, foram observados os maiores valores, $490,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $90,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Abaixo de 100 cm, a concentração média foi $43,4 \mu\text{g.l}^{-1}$. Quanto ao experimento 11, no nível 5 cm a concentração foi nula, no nível 30 cm ocorreu o maior valor, $221,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, e nos últimos 100 cm ficou em torno de $17,2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 14h, a concentração mínima de clorofila a no experimento 6 foi $6,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm). Nos níveis 30 cm e 40 cm, as concentrações foram, respectivamente, $154,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $530,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. A partir do nível 40 cm, as concentrações diminuíram, chegando a $41,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ no fundo do reator. No experimento 7, o nível 5 cm apresentou uma concentração de $8,9 \mu\text{g.l}^{-1}$, passando para $301,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 15 cm, diminuindo em seguida ao longo da profundidade, onde no nível 195 cm chegou a $28,4 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 11, neste horário, até 15 cm de profundidade as concentrações de clorofila a foram nulas. No nível 30 cm ocorreu o maior valor, $558,1 \mu\text{g.l}^{-1}$, e nos últimos 100 cm a concentração foi igual a $34,4 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Nos três experimentos, às 18h, as menores concentra

ções foram verificadas nos primeiros 30 - 40 cm de profundidade, e aumentaram nas camadas subjacentes. A faixa de variação das concentrações de clorofila a nos experimentos 6, 7 e 11 foi de, respectivamente, 10,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm) a 93,6 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm), 11,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (20 cm) a 94,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (100 cm) e 3,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm e 15 cm) a 87,9 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm).

Às 22h, as concentrações de clorofila a variaram de 5,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (30 cm) a 96,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm), no experimento 6. Nos experimentos 7 e 11, foi observada uma uniformidade das concentrações de clorofila a em torno de 40,0 $\mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção do nível 100 cm no experimento 11, cuja concentração foi 57,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

No experimento 6, às 2 horas da madrugada, as concentrações de clorofila a ficaram em torno de 43,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção dos níveis 5 cm e 195 cm, onde as concentrações foram respectivamente 22,9 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e 74,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Neste horário, no experimento 7, as concentrações de clorofila a distribuíram-se uniformemente, ao longo de toda a profundidade da massa líquida, em torno de 53,7 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

No último horário de coleta, no experimento 6 ocorreu uniformidade das concentrações de clorofila a em torno de 63,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção dos níveis 5 cm e 195 cm, onde as concentrações ficaram próximas a 40,0 $\mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 7, a concentração média de clorofila a foi 63,9 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Quanto ao experimento 11, com exceção do nível 30 cm, onde ocorreu 38,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$, a concentração média de clorofila a ao longo do reator foi 51,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

4.2.3.6 - Bacterioclorofilas

De acordo com os resultados obtidos no experimento 11, na lagoa de maturação M₇ a predominância de bacterioclorofilas em ordem decrescente foi: d, c e a e b (figura 4.30).

Às 6 horas da manhã, as concentrações de bacterioclorofilas a e b até 40 cm de profundidade foram em média 12,4 $\mu\text{g.l}^{-1}$, e abaixo de 150 cm foram iguais a 7,0 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Quanto às bacterioclorofilas c e d, neste horário as concentrações distribuíram-se uniformemente em torno de 20,4 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e 28,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente.

Às 10h, as concentrações de bacterioclorofilas a e b variaram de 3,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm e 15 cm) a 14,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (70 cm e 195 cm). As concentrações de bacterioclorofilas c e d no nível 5 cm foram as menores do horário e iguais a 2,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e 4,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. No nível 30 cm aumentaram para 105,7 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e 160,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d), diminuindo em seguida ao longo da profundidade.

No horário seguinte, 14h, nos primeiros 15 cm da lagoa as concentrações de bacterioclorofilas a, b, c e d foram baixas e próximas a 3,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$. No nível 30 cm, neste horário, foram verificadas as maiores concentrações do ciclo diário, sendo os respectivos valores para as bacterioclorofilas a e b, c e d 28,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$, 249,9 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e 390,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Abaixo do nível 100 cm, as concentrações praticamente não variaram, ficando próximas a 8,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofilas a e b), 25,0 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e 34,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

É importante observar que às 10h e 14h as maiores concentrações de bacterioclorofilas c e d ocorreram no mesmo nível da máxima concentração de clorofila a.

Às 18h, a faixa de variação de bacterioclorofilas a e b foi de $3,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (15 cm) a $28,8 \mu\text{g.l}^{-1}$. Nos primeiros 30 cm, as concentrações de bacterioclorofilas c e d foram próximas a $7,4 \mu\text{g.l}^{-1}$. Estas concentrações aumentaram, e abaixo de 100 cm ficaram em torno de $43,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $56,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

A máxima e mínima concentrações de bacterioclorofilas a e b às 22h foram, respectivamente, $24,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (100 cm) e $10,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm e 195 cm). Neste horário, as concentrações de bacterioclorofilas c e d ficaram em torno de $19,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $24,9 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente, com exceção do nível 30 cm, que apresentou valores de $37,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $43,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

No último horário de coleta, com exceção do nível 150 cm, que apresentou $21,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, as concentrações de bacterioclorofilas a e b ficaram próximas a $13,8 \mu\text{g.l}^{-1}$. As bacterioclorofilas c e d, neste horário, apresentaram uniformidade em torno de $26,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $51,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente.

4.2.4 - Lagoa de maturação M₈

Na lagoa de maturação M₈ foram realizados os experimentos 4, 5 e 12.

Durante os três experimentos, o céu apresentou-se parcialmente nublado, e apenas no experimento 12 foi observada a presença de espuma na superfície do reator.

A temperatura do ar variou de $21,0^{\circ}\text{C}$ (2h) a $30,0^{\circ}\text{C}$ (14h) no experimento 4, de $21,5^{\circ}\text{C}$ (22h, 2h e 6 horas da manhã do segundo dia) a $32,0^{\circ}\text{C}$ (14h) no experimento 5 e de $23,0^{\circ}\text{C}$ (6h, 22h e 6 horas da manhã do dia seguinte) a $35,0^{\circ}\text{C}$ (14h) no experimento 12.

No interior da massa líquida, as maiores temperaturas foram observadas às 14h, a 5 cm de profundidade, sendo iguais a $29,0^{\circ}\text{C}$, $30,0^{\circ}\text{C}$ e $30,5^{\circ}\text{C}$ respectivamente nos experimentos 4, 5 e 12. Nos experimentos 4 e 5, a temperatura mínima do reator foi $25,0^{\circ}\text{C}$, ocorrida em vários níveis e horários de coleta no experimento 4, e às 6 horas da manhã em todos os níveis da lagoa no experimento 5. Quanto ao experimento 12, a mínima temperatura foi $25,5^{\circ}\text{C}$ verificada às 6 horas da manhã do segundo dia, no fundo do reator.

A faixa de variação do pH no experimento 4 foi de 7,7 a 8,4. O menor valor de pH ocorreu às 10h no nível 70 cm, 22h no nível 100 cm e às 2h no nível 195 cm. O pH máximo foi verificado às 14h nos primeiros 20 cm do reator e às 18h no nível 40 cm. No experimento 5, o máximo e mínimo valores de pH foram respectivamente 8,8, observado às 18h no nível 5 cm, e 7,6, ocorrido às 6 horas da manhã do segundo dia, a 15 cm de profundidade. Os valores de pH no experimento 12 situaram-se entre 7,6 e 8,6, onde o pH mínimo ocorreu às 14h em vários níveis e às 6 horas da manhã do dia seguinte no nível 100 cm, enquanto que o pH máximo foi verificado às 14h no nível 5 cm e às 18h

entre 5 cm e 15 cm de profundidade.

A lagoa de maturação M_8 , durante os três experimentos, apresentou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido às 10h, 14h e 18h, nos primeiros 20-40 cm de profundidade. Nos experimentos 4 e 5, a máxima concentração de oxigênio dissolvido foi $12,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (30 cm) e $15,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (10 cm) respectivamente, ambas verificadas às 14h, enquanto que no experimento 12 foi $19,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, ocorrida às 18h nos níveis 15 cm e 20 cm. Às 6 horas da manhã do primeiro e segundo dias de experimento, em todos os níveis, e nos demais horários, no fundo do reator, foram verificadas baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

As figuras 4.31, 4.32 e 4.33 ilustram as variações de pH, temperatura e oxigênio dissolvido durante os experimentos 4, 5 e 12, respectivamente.

4.2.4.1 - Sulfato

O sulfato foi a forma de enxofre predominante em toda a profundidade da lagoa de maturação M_8 .

De acordo com as figuras 4.34, 4.35 e 4.36, correspondentes aos experimentos 4, 5 e 12, pode ser observado que neste reator praticamente não houve variação das concentrações de sulfato no ciclo diário, nos diferentes níveis da massa líquida. A concentração média nos três experimentos foi $12,80 \pm 0,31 \text{ mg S} \cdot \text{l}^{-1}$

As amostras de coluna líquida, coletadas por inteiro,

revelaram ser representativas das concentrações de sulfato em toda a profundidade da lagoa. O quadro abaixo indica as concentrações das amostras de coluna líquida e as concentrações médias obtidas a partir da integração do perfil de concentrações, ambas em mg S.l^{-1} .

		6h	10h	14h	18h	22h	2h	6h(2)
Exp. 4	Coluna	13,07	13,37	13,27	13,03	12,80	12,70	12,63
	Média	13,13	13,20	13,10	13,09	12,56	12,50	12,57
Exp. 5	Coluna	13,07	12,90	13,03	13,07	12,63	12,80	12,90
	Média	13,05	13,03	13,04	12,98	12,60	12,46	12,42
Exp. 12	Coluna	12,77	12,87	12,55	12,07	12,67	*	12,70
	Média	12,81	12,67	12,70	12,79	12,72	-	12,68

* Não houve coleta de amostra.

As figuras 4.37, 4.38 e 4.39 ilustram o comportamento das concentrações de sulfato na superfície (5 cm) e no fundo do reator (195 cm) durante os experimentos 4, 5 e 12, respectivamente. Pode ser observado que nos dois níveis as variações foram muito pequenas, principalmente no experimento 12. As maiores variações foram verificadas no experimento 5, onde a máxima e a mínima concentrações na superfície do reator foram $13,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ (10h) e $11,97 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6 horas da manhã do segundo dia), respectivamente. Neste experimento, no nível 195 cm as concentrações de sulfato variaram de $11,90 \text{ mg S.l}^{-1}$ (2h) a $13,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6h).

4.2.4.2 - Sulfeto total

Na lagoa de maturação M_8 , as concentrações de sulfeto total foram muito baixas, e suas variações durante os experimentos 4, 5 e 12 estão apresentadas, respectivamente, nas figuras 4.34, 4.35 e 4.36.

No experimento 4, em vários níveis e horários de coleta a concentração de sulfeto total foi nula. O maior valor foi $0,73 \text{ mg S.l}^{-1}$, verificado às 22h no nível 195 cm.

No experimento 5, 48% das amostras analisadas apresentaram concentração nula. No fundo do reator (195 cm), às 2 horas da madrugada, ocorreu a máxima concentração, que foi $1,01 \text{ mg S.l}^{-1}$.

Quanto ao experimento 12, as concentrações variaram entre $0,02 \text{ mg S.l}^{-1}$ (14h-20 cm) e $0,87 \text{ mg S.l}^{-1}$ (22h-195 cm).

As figuras 4.37, 4.38 e 4.39 ilustram o comportamento das concentrações de sulfeto total nos níveis 5 cm e 195 cm durante os experimentos 4, 5 e 6, respectivamente.

Nos três experimentos foi verificado que no nível 5 cm as concentrações foram nulas ou próximas a este valor. Neste nível, a maior concentração de sulfeto total foi $0,35 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida às 6 horas no experimento 4.

Na camada representativa do fundo do reator (195 cm), as concentrações de sulfeto total foram maiores que na superfície da massa líquida (5 cm). No experimento 4, a concentração máxima foi $0,73 \text{ mg S.l}^{-1}$ ocorrida às 22h, e a mínima, $0,18 \text{ mg}$

$S.l^{-1}$, foi verificada às 10h. No experimento 5, as concentrações variaram de $0,00 \text{ mg } S.l^{-1}$ (6h) a $1,01 \text{ mg } S.l^{-1}$ (2h), enquanto que no experimento 12 a máxima e a mínima concentrações foram, respectivamente, $0,87 \text{ mg } S.l^{-1}$ (22h) e $0,04 \text{ mg } S.l^{-1}$ (6 horas da manhã do segundo dia).

4.2.4.3 - Enxofre elementar

Na lagoa de maturação M_8 , durante o experimento 12, o enxofre elementar ocorreu em concentrações intermediárias entre as de sulfato e sulfeto total (figura 4.36). Com relação a outros reatores do Sistema Experimental (F_9 , M_7 e M_9), a lagoa de maturação M_8 apresentou as maiores concentrações de enxofre elementar. O maior valor foi $5,62 \text{ mg } S.l^{-1}$, observado às 6h no nível 100 cm, e o menor foi $0,00 \text{ mg } S.l^{-1}$, ocorrido às 6 horas da manhã do dia seguinte a 150 cm de profundidade.

Com relação às amostras dos níveis 5 cm e 195 cm (figura 4.39), foi observado que no fundo do reator (195 cm) as concentrações foram ligeiramente maiores que na superfície (5 cm). No nível 5 cm variaram de $0,66 \text{ mg } S.l^{-1}$ a $3,97 \text{ mg } S.l^{-1}$, valores observados às 14h e 6h, respectivamente. No fundo da lagoa a faixa de variação foi menor, indo de $1,98 \text{ mg } S.l^{-1}$ (14h e 6 horas da manhã do segundo dia) a $4,63 \text{ mg } S.l^{-1}$ (6h).

4.2.4.4 - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)

A figura 4.36 ilustra a variação da RSFA ao longo da

profundidade do reator, durante o experimento 12. O maior valor foi registrado às 10h na superfície líquida, sendo igual a $2.000 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Neste horário também foi observada a maior penetração de RSFA, que atingiu o nível 115 cm ($0,5 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$). Abaixo desta profundidade as leituras foram nulas.

4.2.4.5 - Clorofila a

As variações das concentrações de clorofila a na lagoa de maturação M_8 estão apresentadas nas figuras 4.31 (experimento 4), 4.32 (experimento 5) e 4.33 (experimento 12).

No primeiro horário de coleta, a concentração média de clorofila a no experimento 4 foi $72,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 5, até 150 cm as concentrações ficaram em torno de $90,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, passando a $165,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 195 cm. No experimento 12, nos primeiros 20 cm de profundidade as concentrações ficaram em torno de $74,5 \mu\text{g.l}^{-1}$. A máxima concentração ocorreu no nível 40 cm, sendo igual a $99,4 \mu\text{g.l}^{-1}$. Abaixo de 40 cm diminuíram, chegando a $53,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ no fundo do reator.

Às 10 horas da manhã, nos experimentos 4 e 5, a maior concentração foi verificada no nível 20 cm, sendo igual a $181,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $446,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Abaixo deste nível, as concentrações diminuíram, e no fundo do reator foram iguais a $20,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (experimento 4) e $49,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (experimento 5). No experimento 12 foi observada uma uniformidade das concentrações de clorofila a em torno de $94,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção dos níveis 40 cm e 150 cm, onde as concentrações ficaram próximas a $70,7 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Nos três experimentos, a maior concentração de clorofila a ocorreu às 14h. Nos experimentos 4 e 5, a concentração máxima foi $275,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $654,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente, ambas verificadas no nível 40 cm. No experimento 4, neste horário, a partir de 40 cm as concentrações diminuíram ao longo do profundidade, onde o menor valor, $10,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu no nível 195 cm. No experimento 5, a concentração mínima, $65,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, também foi verificada no fundo do reator. Quanto ao experimento 12, neste horário, a concentração máxima foi $187,3 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorrida no nível 20 cm. Nas camadas subjacentes as concentrações diminuíram, atingindo o mínimo valor, $91,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, no fundo da lagoa.

Às 18h as concentrações de clorofila a variaram de $4,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm) a $63,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (100 cm), no experimento 4. No experimento 5 a faixa de variação foi maior, onde a máxima e mínima concentrações foram, respectivamente, $220,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm) e $25,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm). Neste horário, no experimento 12, a maior concentração, $137,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu na camada superficial (5 cm), enquanto que a menor, $68,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, foi verificada no fundo do reator (195 cm). Nas camadas intermediárias, entre 40 cm e 150 cm, a concentração média foi de $107,0 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No horário seguinte, 22h, até 30 cm de profundidade foram verificadas as mais baixas concentrações de clorofila a nos experimentos 4 e 5, as quais ficaram em torno de $4,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $20,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. No experimento 4, abaixo de 30 cm as concentrações aumentaram e mantiveram-se próximas a $31,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ a partir de 100 cm de profundidade. Com relação ao experimento 5, abaixo de 30 cm as concentrações aumentaram,

chegando a $86,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 195 cm. Quanto ao experimento 12, foi observada uma distribuição uniforme de clorofila a em torno de $76,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ ao longo da profundidade, com exceção do nível 5 cm, que apresentou $65,0 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No experimento 4, às 2 horas da madrugada as concentrações de clorofila a variaram de $21,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm) a $50,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (150 cm). No experimento 5, a faixa de variação foi de $24,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $58,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, valores observados na superfície e no fundo do reator, respectivamente.

Às 6 horas da manhã do segundo dia, a concentração média de clorofila a no experimento 4 foi $38,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, com exceção do nível 70 cm, cujo valor foi $65,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 5, ao longo de toda a profundidade do reator as concentrações foram próximas a $64,1 \mu\text{g.l}^{-1}$. No experimento 12, a máxima e mínima concentrações foram, respectivamente, $103,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm) e $49,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm). Entre os níveis 20 cm e 150 cm ficaram em torno de $69,4 \mu\text{g.l}^{-1}$.

4.2.4.6 - Bacterioclorofilas

Na lagoa de maturação M_8 a bacterioclorofila d foi o pigmento bacteriano predominante, seguida da bacterioclorofila c (figura 4.40).

As bacterioclorofilas a e b praticamente não ocorreram neste reator, onde 67% das amostras dos diferentes níveis da massa líquida apresentaram concentração nula. A máxima concentração de bacterioclorofilas a e b foi $10,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, verifi

cada às 6h, no nível 40 cm.

Quanto às bacterioclorofilas c e d, às 6 horas da manhã apresentaram concentrações uniformes em torno de $57,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $73,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ respectivamente, com exceção do nível 40 cm, cujo valor de bacterioclorofila c foi $74,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e de bacterioclorofila d foi $92,2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 10h, as concentrações de bacterioclorofilas c e d apresentaram comportamento semelhante ao horário anterior. Foram verificadas concentrações próximas de $62,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $82,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ respectivamente, com exceção do nível 40 cm, em que a concentração de bacterioclorofila c foi $51,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ e de bacterioclorofila d foi $71,1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 14h ocorreram as maiores concentrações de bacterioclorofilas c e d, no ciclo diário, sendo seus respectivos valores $100,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $134,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, ambos verificados no nível 20 cm. Neste mesmo horário e nível também foi observada a maior concentração de clorofila a durante todo o experimento. As concentrações mínimas de bacterioclorofilas c e d foram observadas no nível 195 cm, sendo respectivamente, $54,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $71,1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No horário seguinte, 18h, a bacterioclorofila c apresentou concentrações próximas a $64,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ entre os níveis 20 cm e 150 cm. A máxima e mínima concentrações foram $81,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm) e $51,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm), respectivamente. Quanto à bacterioclorofila d, as concentrações variaram entre $80,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm) e $124,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm). Nos níveis intermediários as concentrações foram da ordem de $100,2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Às 22h, as concentrações de bacterioclorofilas c e d, até o nível 40 cm, foram próximas a $48,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $76,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Estes valores aumentaram ao longo da profundidade, e entre os níveis 150 cm e 195 cm foram da ordem de $61,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $90,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

No dia seguinte, às 6 horas da manhã, ao longo de toda a profundidade da massa líquida, as concentrações de bacterioclorofilas c e d distribuíram-se uniformemente em torno de $51,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $80,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente.

4.2.5 - Lagoa de maturação M₉

Na lagoa de maturação M₉, os experimentos 2, 3 e 13 foram levados a efeito em dias parcialmente nublados, tendo sido verificada a ocorrência de chuva fina nos experimentos 2 e 3 às 22h e 6 horas da manhã, respectivamente.

A superfície da lagoa, nos três experimentos, esteve livre de espuma.

A máxima temperatura do ar foi observada às 14h, sendo seu valor igual a $27,5^{\circ}\text{C}$, $28,5^{\circ}\text{C}$ e $30,5^{\circ}\text{C}$ nos experimentos 2, 3 e 13, respectivamente. A mínima temperatura no experimento 2 foi $20,0^{\circ}\text{C}$ (6h e 2h), no experimento 3 foi $19,5^{\circ}\text{C}$ (2h) e no experimento 13 foi $22,0^{\circ}\text{C}$ (6h).

A temperatura máxima da massa líquida foi verificada sempre às 14h a 5 cm de profundidade, sendo igual a $28,5^{\circ}\text{C}$ nos

experimentos 2 e 3, e $31,0^{\circ}\text{C}$ no experimento 13. A mínima temperatura da lagoa nos experimentos 2 e 3 foi $25,0^{\circ}\text{C}$, observada em vários níveis e horários, enquanto que no experimento 13 foi $26,0^{\circ}\text{C}$, também observada em vários níveis e horários de coleta.

O maior valor de pH no experimento 2 foi 9,0, ocorrido às 14h no nível 5 cm, e o mínimo foi 7,0 ocorrido às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento no nível 195 cm. No experimento 3, o pH variou de entre 9,1, verificado às 14h no nível 5 cm e 7,8, verificado às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento nos níveis 10 cm, 15 cm e 40 cm. No experimento 13 o pH máximo foi 8,5, observado às 14h no nível 5 cm e às 18h nos níveis 5 cm, 10 cm e 15 cm, enquanto que o mínimo foi 7,5 a 100 cm de profundidade às 14h.

As concentrações de oxigênio dissolvido observadas durante o período experimental revelaram que o reator M_9 é tipicamente aeróbio. As maiores concentrações ocorreram sempre às 14h nas camadas acima de 20 cm de profundidade. No experimento 3 foi possível observar concentrações superiores a $20,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. As menores concentrações ocorreram no fundo do reator.

As figuras 4.41, 4.42 e 4.43 apresentam o comportamento da temperatura, do pH e do oxigênio dissolvido no interior da lagoa nos experimentos 2, 3 e 13, respectivamente.

4.2.5.1 - Sulfato

Este reator não apresentou variações significativas

de sulfato ao longo da profundidade no ciclo diário (figuras 4.44, 4.45 e 4.46). A concentração média nos três experimentos foi $12,73 \pm 1,04 \text{ mg S.l}^{-1}$. Concentrações mais distantes desta média foram observadas no experimento 2 ($10,60 \text{ mg S.l}^{-1}$, $10,70 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $10,80 \text{ mg S.l}^{-1}$) em vários níveis e horários, e no experimento 3 ($15,27 \text{ mg S.l}^{-1}$, $14,93 \text{ mg S.l}^{-1}$, $14,77 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $14,63 \text{ mg S.l}^{-1}$), às 22h, ao longo da profundidade do reator.

Assim como na lagoa de maturação M_8 , na lagoa de maturação M_9 as amostras de coluna líquida coletadas por inteiro foram representativas das concentrações de sulfato em toda a profundidade da lagoa, nos três experimentos. O quadro abaixo apresenta as concentrações de sulfato, em mg S.l^{-1} , da coluna líquida coletada por inteiro e os valores médios obtidos através da integração do perfil de concentrações.

		6h	10h	14h	18h	22h	2h	6h(2)
Exp. 2	Média	10,82	-	10,99	10,95	12,13	11,86	12,27
	Coluna	10,40	*	11,00	10,80	11,15	12,83	11,80
Exp. 3	Média	12,17	13,43	13,58	13,54	14,73	13,53	13,26
	Coluna	11,43	13,50	13,30	13,50	14,77	13,27	13,77
Exp. 13	Média	13,09	13,03	13,22	13,16	12,92	-	13,14
	Coluna	13,23	13,17	12,70	13,03	13,00	*	13,13

* Não houve coleta de amostra.

A análise das amostras dos níveis 5 cm e 195 cm de mostrou que, tanto na superfície quanto no fundo da lagoa, as concentrações de sulfato mantiveram-se praticamente constantes

no ciclo diário (figuras 4.47, 4.48 e 4.49). No nível 5 cm, a maior variação foi observada no experimento 3, onde a máxima concentração foi $15,27 \text{ mg S.l}^{-1}$ (22h) e a mínima foi $11,43 \text{ mg S.l}^{-1}$ (6h). No fundo do reator a maior variação ocorreu durante o experimento 2, onde às 6 horas da manhã a concentração de sulfato era $10,60 \text{ mg S.l}^{-1}$ e às 22h chegou a $12,70 \text{ mg S.l}^{-1}$.

4.2.5.2 - Sulfeto total

Neste reator foram observadas as menores concentrações de enxofre na forma de sulfeto total.

No experimento 2, concentrações nulas ocorreram às 18h no nível 5 cm, às 2h no nível 70 cm e às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento nos níveis 5 cm e 195 cm (figura 4.44).

O experimento 3 apresentou concentração nula em 46% das amostras coletadas nos diferentes níveis do reator. Neste experimento a maior concentração foi $0,12 \text{ mg S.l}^{-1}$, ocorrida às 10h a 150 cm de profundidade (figura 4.45).

No experimento 13 (figura 4.46) as concentrações de sulfeto total variaram entre $0,01 \text{ mg S.l}^{-1}$ e $0,61 \text{ mg S.l}^{-1}$. A máxima concentração ocorreu às 22h no nível 195 cm, e a mínima às 14h na superfície do reator.

As amostras do nível 5 cm apresentaram concentrações praticamente nulas nos três experimentos (figuras 4.47, 4.48 e 4.49). Quanto ao nível 195 cm, as maiores concentrações ocorre

ram nos experimentos 2 ($1,10 \text{ mg S.l}^{-1} - 6\text{h}$) e 13 ($0,61 \text{ mg S.l}^{-1} - 22\text{h}$).

4.2.5.3 - Enxofre elementar

Esta forma de enxofre foi a que apresentou maiores variações ao longo da profundidade do reator durante o experimento 13 (figura 4.46). A máxima concentração foi $2,40 \text{ mg S.l}^{-1}$, observada às 18h no nível 5 cm, e às 6 horas da manhã do segundo dia de experimento a 100 cm de profundidade. Em vários níveis e horários de coleta ocorreram concentrações nulas.

A figura 4.49 ilustra as variações das concentrações de enxofre elementar nos níveis 5 cm e 195 cm.

4.2.5.4 - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA)

A RSFA determinada no experimento 13 atingiu o máximo valor às 14h, onde na superfície do reator foi registrado $1.600 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Todavia, a maior penetração de RSFA foi verificada às 10 horas da manhã, onde pôde ser detectada no nível 120 cm $1,0 \mu\text{Eint.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Neste horário, abaixo de 120 cm as leituras foram nulas (figura 4.46).

4.2.5.5 - Clorofila a

A lagoa de maturação M_9 apresentou as menores concen

trações de clorofila a em relação aos demais reatores do Sistema Experimental, durante os experimentos 2 e 3 (figuras 4.41 e 4.42). No experimento 13 as concentrações de clorofila a foram mais elevadas (figura 4.43).

No experimento 2, às 6h e 18h a concentração média de clorofila a foi $16,6 \mu\text{g.l}^{-1}$. Às 14h, entre os níveis 5 cm e 70 cm, as concentrações ficaram em torno de $23,6 \mu\text{g.l}^{-1}$. Abaixo de 70 cm diminuíram, chegando a $9,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ no fundo do reator. As menores concentrações foram verificadas nos três últimos horários de coleta. Às 22h, nos primeiros 150 cm de profundidade a concentração média de clorofila a foi $6,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. No nível 195 cm aumentou para $18,5 \mu\text{g.l}^{-1}$. Às 2h da manhã a máxima e mínima concentrações foram respectivamente $8,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm) e $2,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (70 cm). No horário seguinte as concentrações de clorofila a ficaram entre $2,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (5 cm) e $10,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm).

No experimento 3, às 6h, 18h, 22h e 6 horas da manhã do dia seguinte, as concentrações de clorofila a praticamente não variaram ao longo da profundidade, ficando próximas a $18,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, $13,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, $14,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $10,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. Às 10h ocorreu a maior variação no ciclo diário ao longo da coluna líquida, onde a concentração máxima foi $29,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ (30 cm) e a mínima foi $8,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (150 cm). Nos demais níveis as concentrações ficaram em torno de $11,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. Às 14h as concentrações situaram-se entre $12,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $29,3 \mu\text{g.l}^{-1}$, valores observados nos níveis 150 cm e 30 cm, respectivamente. A concentração mínima de clorofila a, neste experimento, foi verificada às 2 horas da madrugada na camada mais superficial do

reator (5 cm), sendo igual a $4,5 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No experimento 13 as variações de clorofila a ao longo do reator foram mais acentuadas do que nos experimentos 2 e 3. No primeiro horário de coleta, 6h, foi observada uma uniformidade das concentrações ao longo da profundidade, em torno de $76,4 \mu\text{g.l}^{-1}$, exceto no nível 40 cm, cujo valor foi $61,2 \mu\text{g.l}^{-1}$. Às 10h, no nível 5 cm a concentração de clorofila a foi $61,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, a qual aumentou para $84,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 20 cm. A partir de 20 cm a concentração média foi de $48,2 \mu\text{g.l}^{-1}$. A maior concentração de clorofila a no ciclo diário ocorreu às 14h, a 30 cm de profundidade, sendo igual a $225,5 \mu\text{g.l}^{-1}$. A mínima concentração neste horário foi $42,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, verificada na camada mais superficial. No horário seguinte, 18h, a máxima e mínima concentrações foram, respectivamente, $91,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ (150 cm) e $61,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (195 cm). Às 22h a faixa de variação foi maior que no horário anterior. A máxima concentração foi $99,4 \mu\text{g.l}^{-1}$, verificada a 150 cm de profundidade, enquanto que a mínima, $38,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, ocorreu no nível 20 cm. As concentrações de clorofila a no último horário de coleta variaram de $49,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $80,3 \mu\text{g.l}^{-1}$, valores observados respectivamente nos níveis 20 cm e 100 cm. Nos demais níveis ficaram próximas a $59,8 \mu\text{g.l}^{-1}$.

4.2.5.6 - Bacterioclorofilas

A determinação das concentrações de bacterioclorofilas durante o experimento 13 (figura 4.50) demonstrou que, assim como nos demais reatores do Sistema Experimental, na lagoa de maturação M_9 houve uma predominância de bacterioclorofila d,

seguida da bacterioclorofila c.

As concentrações das bacterioclorofilas a e b foram muito baixas. Em vários níveis e horários de coleta as concentrações foram nulas. O maior valor foi $10,6 \mu\text{g.l}^{-1}$, verificado às 6h no nível 40 cm, e às 10h e 18h no nível 195 cm.

Quanto às bacterioclorofilas c e d, às 6 horas da manhã apresentaram uniformidade em torno de $50,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $67,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente, em toda a profundidade da lagoa.

Às 10h, as respectivas concentrações de bacterioclorofilas c e d ficaram próximas a $46,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $61,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ ao longo da profundidade, exceto no nível 20 cm cujos valores foram $64,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila c) e $92,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (bacterioclorofila d).

Durante o experimento, as maiores concentrações de bacterioclorofilas c e d foram observadas às 14h no nível 30 cm, sendo seus respectivos valores $120,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $160,3 \mu\text{g.l}^{-1}$. Neste horário, os menores valores ocorreram no nível 5 cm, que apresentou $37,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ de bacterioclorofila c e $52,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ de bacterioclorofila d.

Às 18h, as concentrações de bacterioclorofilas c distribuíram-se uniformemente, ao longo de toda a profundidade do reator, em torno de $52,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. Quanto à bacterioclorofila d a uniformidade de valores foi em torno de $69,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ até 150 cm de profundidade, diminuindo para $59,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ no nível 195 cm.

No horário de 22h, concentrações próximas a $42,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $57,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ de bacterioclorofilas c e d, respectivamente,

te, ocorreram em toda a profundidade da massa líquida. No nível 150 cm, todavia, as concentrações foram um pouco maiores, onde os respectivos valores para as bacterioclorofilas c e d, foram $64,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $86,2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

No segundo dia de experimento, às 6 horas da manhã, em toda a profundidade do reator as concentrações de bacterioclorofilas c e d distribuíram-se em torno de $47,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ e $67,8 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente.

4.3 - Análise Geral dos Resultados

De acordo com os dados apresentados, a primeira lagoa do Sistema Experimental, lagoa anaeróbica A_7 , caracterizou-se por apresentar elevadas concentrações de enxofre na forma de sulfeto total e baixas concentrações de sulfato.

A lagoa facultativa secundária F_9 , durante o período experimental apresentou as maiores variações das formas de enxofre com relação aos demais reatores da série. No experimento tipo I, onde a coleta de amostras era realizada às 8 horas da manhã, o sulfeto total foi a forma de enxofre predominante, com poucas exceções. Essa predominância, no entanto, não foi tão marcante quanto na lagoa anaeróbica A_7 . No experimento tipo II, as concentrações de sulfeto total excederam as de sulfato às 6 horas da manhã e no período noturno. Nos horários de maior radiação solar, nas camadas superficiais, a forma de enxofre predominante foi o sulfato, e nas camadas inferiores predominou o sulfeto total. Contudo, em um dos experimentos tipo II (experi

mento 10), este comportamento também foi observado no horário das 22h.

Nas lagoas de maturação (M_7 , M_8 e M_9), onde as concentrações de oxigênio dissolvido foram maiores que nos demais reatores, o sulfato foi a forma de enxofre predominante.

De acordo com os dados apresentados no experimento tipo II, a lagoa de maturação M_7 apresentou um aumento das concentrações de sulfeto total ao longo da profundidade da massa líquida. O comportamento inverso foi observado com relação às concentrações de sulfato.

As lagoas de maturação M_8 e M_9 praticamente não apresentaram variações das concentrações de enxofre na forma de sulfato e sulfeto total. No experimento tipo II, ao longo de toda a profundidade da massa líquida foi observada uniformidade das concentrações de sulfato em torno de valores elevados. Quanto ao sulfeto total, suas concentrações foram muito baixas, principalmente na última lagoa do Sistema Experimental (M_9).

Nos reatores em que foi pesquisado, o enxofre elementar apresentou pequenas concentrações. Os maiores valores foram verificados na lagoa de maturação M_8 .

Quanto à clorofila a, as lagoas de maturação M_7 e M_8 apresentaram as maiores concentrações. Em todos os reatores os maiores valores ocorreram entre 5 cm e 40 cm de profundidade, às 10h e 14h.

Com relação aos pigmentos bacterianos, nos reatores

F₉, M₇, M₈ e M₉, a maior ocorrência foi de bacterioclorofila d, seguida da bacterioclorofila c. As bacterioclorofilas a e b apresentaram concentrações muito baixas, principalmente nos dois últimos reatores da série (M₈ e M₉).

De um modo geral, os pigmentos característicos das bactérias verdes do enxofre (bacterioclorofilas c e d), apresentaram concentrações próximas às de clorofila a (figuras 4.20, 4.30, 4.40 e 4.50).

QUADRO 4.1 - Dados meteorológicos de radiação solar acumulada e velocidade média diária do vento, referentes ao Experimento II.

Experimento	Reator	Data	Radiação Solar (g. cal. cm ⁻² . d ⁻¹)	Velocidade Média Diária do Vento (km. h ⁻¹)
1	F ₉	19-20.08.87	376,8	3,4
2	M ₉	26-27.08.87	585,6	3,6
3	M ₉	02-03.09.87	657,6	4,0
4	M ₈	16-17.09.87	672,0	4,7
5	M ₈	23-24.09.87	718,8	6,7
6	M ₇	30.09-01.10.87	654,0	5,2
7	M ₇	07-08.10.87	672,0	6,7
8	A ₇	28-29.10.87	729,6	6,0
9	A ₇	04-05.11.87	600,0	6,2
10	F ₉	09-10.12.87	837,6	7,8
11	M ₇	16-17.12.87	495,6	7,1
12	M ₈	22-23.12.87	798,0	8,8
13	M ₉	29-30.12.87	654,0	5,6

QUADRO 4.2 - Velocidade média do vento (km.h^{-1}) em intervalos de 4 horas num período de 24 horas, referentes ao Experimento II.

Experimento	Reator	Data	H O R A					
			06:00	10:00	14:00	18:00	22:00	02:00
1	F ₉	19-20.08.87	5,3	8,7	5,4	0,9	0,02	0
2	M ₉	26-27.08.87	5,0	5,9	2,6	2,7	2,7	0,3
3	M ₉	02-03.09.87	4,6	7,7	7,4	1,9	2,1	0,2
4	M ₈	16-17.09.87	5,8	7,4	8,1	5,2	1,3	0,6
5	M ₈	23-24.09.87	7,5	9,8	8,7	6,1	3,9	4,0
6	M ₇	30.09-01.10.87	6,7	7,5	6,6	4,7	2,7	2,8
7	M ₇	07-08.10.87	6,2	8,2	8,5	7,7	4,8	4,7
8	A ₇	28-29.10.87	6,6	6,2	7,5	7,3	4,9	3,3
9	A ₇	04-05.11.87	7,0	7,4	7,2	5,4	5,1	5,4
10	F ₉	09-10.12.87	9,0	12,5	9,6	7,1	4,8*	
11	M ₇	16-17.12.87	7,8	8,8	9,1	6,2	5,4*	
12	M ₈	22-23.12.87	9,5	9,7	10,4	10,5	6,4*	
13	M ₉	29-30.12.87	6,6	9,7	7,9	6,5	1,5*	

* Velocidade média do vento entre 22h e 6h(2).

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Comportamento do Enxofre no Sistema Experimental

O ciclo do enxofre envolve várias reações que podem ser identificadas no Sistema Experimental.

Os resultados do experimento tipo I (monitoramento) revelaram que no primeiro reator, lagoa anaeróbia A₇, ocorreu a maior parte da geração de sulfeto como resultado da redução do enxofre pelas bactérias de redução dissimilatória de sulfato. Neste reator, segundo os dados obtidos no experimento tipo I, cerca de 83% do sulfato afluente foi reduzido. As bactérias de redução dissimilatória de sulfato encontram na lagoa anaeróbia A₇ condições favoráveis ao seu desenvolvimento, por ser um reator totalmente anaeróbio que recebe uma quantidade considerável do sulfato através do esgoto bruto.

O experimento tipo II, todavia, demonstrou que neste reator (A₇), durante o ciclo diário também ocorreu a oxidação do enxofre, embora em pequenas taxas. Nos experimentos 8 e 9, na camada mais superficial (5cm), foi verificado que nos horários mais iluminados ocorreu um acréscimo das concentrações de sulfato, indicando que houve oxidação de enxofre. No experimento 8 as taxas de oxidação mais expressivas foram 0,22mg S.l⁻¹.h⁻¹, verificada entre 6 e 10 horas da manhã, e 0,52mg S.l⁻¹.h⁻¹, verificada entre 10 e 14 horas. No experimento 9, apenas entre 6

e 10 horas da manhã foi observado um acréscimo das concentrações de sulfato no nível 5cm que correspondeu a uma taxa de oxidação de $0,35 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$. De acordo com as figuras 4.8 e 4.9 pode ser verificado que durante os experimentos 8 e 9 o reator apresentou-se totalmente anaeróbio. Portanto, estes acréscimos nas concentrações de sulfato podem ser atribuídos à oxidação anaeróbia do enxofre realizada pelas bactérias fotossintetizadoras.

As concentrações de sulfato no fundo do reator, representado pelo nível 195 cm, apresentaram-se muito baixas e com pequenas variações no ciclo diário. Não é possível, no entanto, atribuir pequenos aumentos na concentração de sulfato a fenômenos de oxidação bioquímica devido à ausência de luz. Estes aumentos podem ser atribuídos ao método analítico ou à influência das concentrações de sulfato afluentes. As maiores taxas de redução do enxofre no fundo do reator, nos experimentos 8 e 9 foram, respectivamente, $0,24 \text{ mgS.l}^{-1}$ (10h-14h) e $0,23 \text{ mgS.l}^{-1}$ (22h-2h), ambas determinadas em relação à diminuição das concentrações de sulfato. Quanto à diminuição de sulfeto total em determinados horários, não deve ser atribuída a oxidação físico-química devido à ausência de oxigênio dissolvido.

Na lagoa facultativa secundária F₉, os resultados do experimento tipo I revelaram a predominância dos processos oxidativos em relação aos processos de redução do enxofre. Isto é demonstrado por um aumento das concentrações de sulfato e diminuição das concentrações de sulfeto total em relação à lagoa anaeróbia A₇. Conforme ilustra a figura 4.7, a concentração e

fluente de sulfato da lagoa facultativa F_9 ($5,40 \text{ mgS.l}^{-1}$) foi mais que o dobro da concentração afluyente ($2,50 \text{ mgS.l}^{-1}$).

No experimento tipo II foi possível observar que no ciclo diário, na lagoa facultativa F_9 , tanto ocorreu a oxidação quanto a redução do enxofre, dependendo das condições predominantes nas diferentes zonas do reator.

Durante o dia, na camada mais superficial, nos experimentos 1 e 10, ocorreu a oxidação do enxofre entre 6h e 14h. Uma vez que entre 6h e 10 horas da manhã, em ambos os experimentos (1 e 10), o reator encontrou-se em condições de anaerobiose, a oxidação do enxofre pode ser atribuída à ação bioquímica de bactérias fotossintéticas do enxofre. Neste intervalo as taxas de oxidação foram, respectivamente, $1,50 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e $0,73 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ nos experimentos 1 e 10. Às 14h quando já eram observadas concentrações mais significativas de oxigênio dissolvido nas camadas superiores, em ambos os experimentos o mecanismo de oxidação físico-química do enxofre deve ter prevalecido sobre os demais. Entre 10h e 14h a taxa de oxidação no nível 5cm foi $0,32 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no experimento 1, e $0,41 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no experimento 10, ambas determinadas em termos de diminuição das concentrações de sulfeto total. Neste intervalo, o aumento das concentrações de sulfato nos experimentos 1 e 10 foi respectivamente de $0,32 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e $0,98 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

No período noturno foi observada uma diminuição das concentrações de sulfato, caracterizando, desta forma, a predominância do fenômeno de redução. Em ambos os experimentos a taxa de redução mais expressiva na camada superficial foi verificada entre 18h e 22h, sendo igual a $1,52 \text{ mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e $0,35$

$\text{mg S.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$, respectivamente nos experimentos 1 e 10.

No nível 195 cm, no experimento 1 foi observada uma alternância das concentrações de sulfato entre valores próximos a zero e valores mais significativos, durante o ciclo diário (figura 4.18). No experimento 10, entre 10h e 22h a concentração de sulfato diminuiu até anular-se. Entre 6h e 10h e 22h e 6 horas da manhã do dia seguinte ocorreu um aumento das concentrações (figura 4.19). Assim como na lagoa anaeróbia A_7 , no fundo da lagoa facultativa F_9 foi observada a redução do enxofre. Pelos mesmos motivos mencionados anteriormente, o aumento eventual das concentrações de sulfato no fundo do reator não pode ser atribuído à oxidação.

A lagoa de maturação M_7 demonstrou ser um reator de processos predominantemente oxidativos. De acordo com os resultados do experimento tipo I, assim como na lagoa facultativa F_9 , em M_7 o sulfato efluente ($11,30 \text{ mg S.l}^{-1}$) foi mais que duas vezes o afluente ($5,40 \text{ mg S.l}^{-1}$). Apenas neste reator, cerca de 50% do sulfato reduzido em A_7 foi recuperado.

A partir dos resultados do experimento tipo II, foi observado que, no ciclo diário, não foram verificadas grandes transformações do enxofre na lagoa de maturação M_7 . Entre 6h e 10 horas da manhã na camada superficial, o aumento das concentrações de sulfato (experimentos 6, 7 e 11) e diminuição das concentrações de sulfeto total (experimentos 7 e 11) indicam que houve oxidação do enxofre. Esta oxidação deveu-se, provavelmente, ao surgimento de oxigênio dissolvido ou ao mecanismo bioquímico de oxidação mediado por bactérias que oxidam compostos reduzidos de enxofre na presença de oxigênio (bactérias in

cores do enxofre). Todavia, a primeira hipótese (oxidação química) é mais provável, já que bactérias incolores do enxofre não são frequentes em lagoas de estabilização (GLOYNA & ESPINO, 1969). No intervalo de 6h a 10 horas da manhã praticamente todo o sulfeto da camada superficial foi oxidado. A partir de 22h, quando condições anaeróbias prevaleceram, a redução do enxofre foi iniciada.

No fundo do reator a redução do enxofre, quando verificada, se deu em pequenas taxas.

Nos dois últimos estágios do Sistema Experimental (lagoas de maturação M_8 e M_9), praticamente não ocorreram mais transformações das formas de enxofre. Nestes reatores foi verificado que os compostos do enxofre já estavam, em grande parte, na sua forma mais oxidada (sulfato), e o sulfeto total praticamente não existia.

O experimento tipo I demonstrou que, embora em pequena escala, a oxidação do enxofre ainda foi observada nestes reatores. Através do experimento tipo II, foram verificados pequenos aumentos das concentrações de sulfeto total na camada mais inferior de M_8 (experimentos 4, 5 e 12) e M_9 (experimento 13) em determinados horários, que podem ser atribuídos a processos de redução.

De uma maneira geral, ao longo do Sistema Experimental foi observada uma predominância dos processos oxidativos do enxofre, com exceção da lagoa anaeróbia A_7 , onde a redução foi o principal fenômeno, e da lagoa facultativa F_9 , onde, apesar da predominância da oxidação, a redução do enxofre foi expressiva.

O monitoramento da série de lagoas demonstrou que, a partir da lagoa facultativa F₉, o sulfato reduzido em A₇ é recuperado (principalmente em M₇). No efluente do último estágio do Sistema Experimental sua concentração (13,00 mg S.l⁻¹) é muito próxima à do esgoto bruto (14,40 mg S.l⁻¹).

Com os dados do experimento tipo II, foi verificado nas camadas superiores um complexo ciclo diário do enxofre, no qual durante o dia predominou a oxidação, e durante a noite a redução. A oxidação do enxofre tanto pode ser atribuída às bactérias oxidadoras de compostos reduzidos do enxofre (principalmente as anaeróbias), quanto à reação direta com oxigênio dissolvido, dependendo das condições predominantes. Desta forma, deve-se atribuir à intensidade luminosa um papel importante nos processos de oxidação, já que está diretamente relacionada à oxidação de compostos reduzidos do enxofre através das bactérias fototróficas, ou indiretamente através do oxigênio produzido pela atividade fotossintética das algas.

No fundo dos reatores, devido a ausência de oxigênio dissolvido e de luz, as transformações do enxofre foram atribuídas, principalmente, aos processos de redução bioquímica dissimilatória.

5.2 - Ocorrência de Bacterioclorofilas

A pesquisa de bacterioclorofilas nas lagoas F₉, M₇, M₈ e M₉ demonstrou a ocorrência de bactérias fotossintetizadas do enxofre no Sistema Experimental. Foi observado ainda

que, ao longo da série de lagoas as bacterioclorofilas a e b, típicas das bactérias púrpuras, apresentaram-se em pequenas concentrações com uma tendência a desaparecer, enquanto que as bacterioclorofilas c e d, principais pigmentos das bactérias verdes, apresentaram-se em concentrações mais elevadas tendendo a aumentar em M_8 e M_9 .

O desaparecimento de bactérias púrpuras do enxofre ao longo da série é justificado pelo surgimento de condições adversas ao seu desenvolvimento, tais como concentrações elevadas de oxigênio dissolvido. Quanto às bactérias verdes, esperava-se que também desaparecessem ao longo do Sistema Experimental tal como as bactérias púrpuras. Considerando que os pigmentos das bactérias verdes apresentam propriedades espectrais muito semelhantes às da clorofila a (STANIER et alii, 1977), é possível que o comportamento das concentrações de bacterioclorofilas c e d tenha sofrido a interferência da presença de clorofila a. Esta hipótese é reforçada pelo fato de que as concentrações de bacterioclorofilas c e d (principalmente esta última) foram, em geral, próximas às de clorofila a (Figuras 4.20, 4.30, 4.40 e 4.50).

5.3 - Qualidade do Efluente

O gás sulfídrico é uma das formas de enxofre mais indesejáveis em lagoas de estabilização. Ele está diretamente relacionado com a produção de odores desagradáveis e constitui um fator de toxicidade para as algas e algumas bactérias. Em uma série de lagoas de estabilização, a geração de gás sulfí

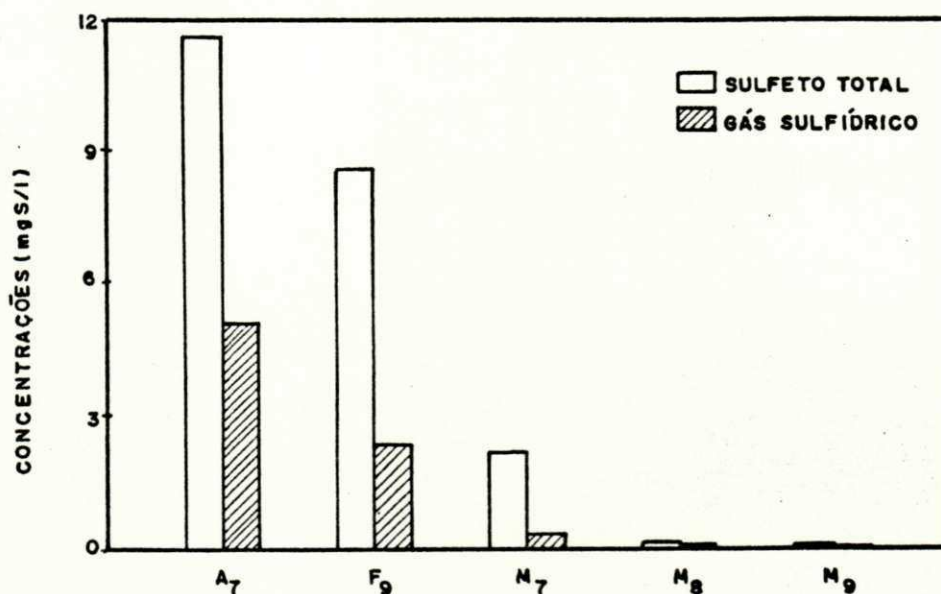
drico na lagoa anaeróbia irá prejudicar o funcionamento da lagoa seguinte que recebe o efluente com alta concentração de H_2S , principalmente quando é lançado na superfície, onde se tem a maior atividade das algas (PEARSON et alii, 1987). Além do mais, o gás sulfídrico apresenta uma alta demanda de oxigênio ($2 \text{ mol } O_2 \cdot \text{mol}^{-1} H_2S$), podendo causar depleção de O_2 em corpos receptores, prejudicando a vida aquática (KOBAYASHI et alii, 1983).

Ao longo do Sistema Experimental aqui estudado, a melhoria da qualidade do efluente, no que se refere às concentrações de H_2S , esteve associada a dois fatores: oxidação do enxofre e diminuição das proporções de H_2S com o aumento do pH.

Considerando o pH característico do efluente de cada reator e a concentração média de sulfeto total obtidos no experimento tipo I, o quadro abaixo apresenta as proporções de gás sulfídrico (H_2S) e bissulfeto (HS^-), assim como suas respectivas concentrações. Vale salientar que para o cálculo de tais proporções foi admitido que o sulfeto total estava na forma solubilizada.

REATOR	pH	SULFETO TOTAL (mg S.l^{-1})	H_2S (%)	H_2S (mg S.l^{-1})	HS^- (%)	HS^- (mg S.l^{-1})
A ₇	7,1	11,60	44	5,10	56	6,50
F ₉	7,4	8,60	28	2,41	72	6,19
M ₇	7,7	2,20	17	0,37	83	1,84
M ₈	7,9	0,10	11	0,01	89	0,09
M ₉	8,0	0,05	9	0,004	91	0,046

O diagrama abaixo ilustra a evolução de gás sulfídrico na série de lagoas:



Como pode ser observado, ao longo do Sistema Experimental ocorreu a diminuição das concentrações de gás sulfídrico e, conseqüentemente, a diminuição do problema de exalação de maus odores. A influência do pH nas proporções de H_2S foi significativa, principalmente quando o valor do pH foi baixo (lagoa anaeróbia A₇). Em termos de concentração de gás sulfídrico, não se pode comparar o efluente da lagoa anaeróbia A₇ com o efluente do último estágio do Sistema Experimental. No último reator (M₉), a concentração de H_2S foi apenas 0,08% do gás sulfídrico presente no efluente de A₇. As altas concentrações de sulfeto total, associadas a outros fatores, fazem com que o efluente da lagoa anaeróbia A₇ seja considerado de baixa qualidade.

5.4 - Efeito Tóxico do Sulfeto Sobre as Algas no Sistema Experimental

Considerando que, para valores de pH encontrados em lagoas de estabilização, concentrações de $8,0 \text{ mg S.l}^{-1}$ de sulfeto causam a inibição da fotossíntese das algas (MARA & PEARSON, 1986), é possível que nos reatores A_7 e F_9 tenha ocorrido a inibição da atividade fotossintética destes organismos.

O experimento tipo II demonstrou que no ciclo diário, durante os experimentos 8 e 9 realizados na lagoa anaeróbia A_7 , as concentrações de sulfeto total foram maiores que o valor acima referido, sugerindo a existência de um efeito inibidor do processo fotossintético das algas.

Na lagoa facultativa F_9 , apesar das baixas concentrações de sulfeto total nas zonas preferenciais das algas nos horários de maior radiação solar, bem como os maiores valores de pH, é provável que a fotossíntese desses organismos tenha sido prejudicada. Segundo PEARSON et alii (1987), após o contato com elevadas concentrações de sulfeto, as algas levam algum tempo para reativar a atividade fotossintética, e quanto maior o tempo de contato, maior o tempo de recuperação. Assim, como na lagoa facultativa F_9 durante os experimentos 1 e 10 foi observado que na maior parte do ciclo diário e na maior parte do reator as concentrações de sulfeto total foram elevadas, as algas ficaram muito tempo expostas à toxicidade do sulfeto, o que pode ter levado à inibição da fotossíntese por algum tempo, mesmo após o período de exposição.

Quanto às lagoas de maturação M_7 , M_8 e M_9 , a possibi

lidade de inibição da atividade fotossintética foi totalmente eliminada, já que nestes reatores as concentrações de sulfeto total foram muito baixas, principalmente nos dois últimos.

CONCLUSÕES

Após o estudo do Sistema Experimental, foi con
cluído que:

. Na lagoa anaeróbia A₇, ocorreu a maior parte da geração de sulfeto total, como consequência dos proces
sos de redução dos compostos de enxofre. Neste reator o sulfeto total foi a forma predominante de enxofre em toda a coluna líquida durante o ciclo diário.

. A partir da lagoa facultativa secundária F₉, foi observada a remoção de sulfeto total, pela predominân
cia dos processos de oxidação.

. A lagoa facultativa secundária F₉ caracteri
zou-se por apresentar grandes variações de sulfato e de sulfeto total, ao longo da profundidade, no ciclo diário.

. As lagoas de maturação M₇, M₈ e M₉ apresenta
ram o sulfato como forma de enxofre predominante em toda a coluna líquida, no período de 24 horas. Nos dois últimos reatores (M₈ e M₉), as amostras de coluna líquida coleta
das por inteiro foram representativas das concentrações de sulfato, ao longo de toda a profundidade.

. Nas camadas superiores das lagoas, pôde ser es
tabelecido um ciclo diário do enxofre, no qual os proces
sos oxidativos dos compostos do enxofre predominaram duran

te o dia, e durante a noite os processos de redução. Dependendo das condições ambientais prevalecentes, a oxidação do enxofre foi atribuída às bactérias oxidadoras (sobretudo as anaeróbias), ou à reação direta com o oxigênio dissolvido. Quanto aos processos de redução, foram atribuídos às bactérias de redução dissimilatória de sulfato.

. Nos reatores em que foram pesquisadas (F₉, M₇, M₈ e M₉), as bacterioclorofilas estiveram presentes, indicando a ocorrência de bactérias fotossintéticas oxidadoras de enxofre. Vale salientar, no entanto, que a determinação das bacterioclorofilas c e d ficou prejudicada pela presença de clorofila a, ficando demonstrada a necessidade da utilização de técnicas mais precisas para a determinação daqueles pigmentos.

. Considerando o importante papel da radiação solar nos processos de oxidação de sulfeto, sistemas rasos de lagoas de estabilização, que permitem uma maior penetração de luz, podem ser mais eficientes na remoção desta forma de enxofre. Todavia, o sistema de lagoas profundas em série tratando esgotos domésticos, pesquisado, demonstrou ser eficiente na remoção de sulfeto. O efluente produzido foi de boa qualidade, podendo ser lançado em corpos receptores, sem prejuízo à vida aquática.

. A partir dos dados coletados, não foi possível verificar o modelo de GLOYNA & ESPINO (1969), nem estabelecer um modelamento matemático que desse uma estimativa da produção de sulfeto, no Sistema Experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. W. Sulphur in Biology. Studies in Biology nº 101, Edward Arnold (Publishers) Limited, London, 1978. 59 p.
- ATLAS, R.M. & BARTHA, R. Microbial Ecology - Fundamentals and Application. 2nd edition. The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California, 1987. 522 p.
- BROCK, T.D.; SMITH, D.W.; MADIGAN, M.T. Biology of Microorganisms. 4th edition. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984. 848 p.
- COOPER, D.E.; RANDES, M.B.; WOO, C.P. Sulfide reduction in fellmongery effluent by red sulfur bacteria. Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 47, nº 8, 1975. 2089-2100 p.
- DUNNETTE, D.A.; CHYNOWETH, D.P.; MANCY, K.H. The source of hydrogen sulfide in anoxic sediment. Water Research, vol. 19, nº 7, 1985. 875-884 p.
- GLOYNA, E.F. & ESPINO, E. Sulfide production in waste stabilization ponds. Journal of Sanitary Engineering Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. vol. 95, 1969. 607-628 p.
- GUERRERO, R.; MONTESINOS, E.; PEDRÓS-ALIÓ, C.; ESTEVE, I.; MAS,

- J.; VAN GUEMERDEN, H.; HOFMAN, P.A.G.; BAKKER, J.F. Photo- trophic sulfur bacteria in two Spanish lakes: Vertical distribution and limiting factors. *Limnology and Oceanography*, vol. 30, n^o 5, 1985. 919-931 p.
- HAMILTON, W.A. Sulphate-reducing bacteria and anaerobic corrosion. *Annual Review of Microbiology*, vol. 39, 1985. 195-217 p.
- HOLM, H.W. & VENNES, J.W. Occurrence of Purple Sulfur Bacteria in a Sewage Treatment Lagoon. *Applied Microbiology*, vol. 19, n^o 6, 1970. 988-996 p.
- JONES, J.G. A guide to Methods for Estimating Microbial Numbers and Biomass in Fresh Water. Freshwater Biological Association. Scientific Publication, n^o 39, 1979. 112 p.
- JØRGENSEN, B.B. Ecology of the bacteria of the sulphur cycle with special reference to anoxic-oxic interface environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, series B, vol. 298, n^o 1093, 1982. 543-561 p.
- JØRGENSEN, B.B.; KUENEN, J.G. & COHEN, Y. Microbial transformations of sulfur compounds in a stratified lake (Solar Lake, Sinai). *Limnology and Oceanography*, vol. 24, n^o 5, 1979. 799-822 p.
- KOBAYASHI, H.A.; STENSTROM, M.; MAH, R.A. Use of Photosynthetic bacteria for hydrogen sulfide removal from anaerobic waste treatment effluent. *Water Research*, vol. 17, n^o 5, 1983. 579-587 p.
- KUENEN, J.G. & BEUDEKER, R.F. Microbiology of thiobacilli and other sulphur-oxidizing autotrophs, mixotrophs and heterotrophs. *Philosophical Transactions of the Royal Society*

of London, series B, vol. 298, n^o 1093, 1982. 473-497 p.

MARA, D.D. & PEARSON, H. Artificial Freshwater Environment: Waste Stabilization Ponds. Edited by Rehm, H.J. & Reed G. Biotechnology, vol. 8, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1986. 179-206 p.

MAREE, J.P. & STRYDOM W.F. Biological sulphate removal in an upflow packed bed reactor. Water Research, vol. 19, n^o 9, 1985. 1101-1106 p.

Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. IBP Handbook, n^o 8, edited by Golterman, H.L. & Clymo, R.S. Oxford, Blackweel Scientific Publications, 1971. 166 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, n^o 11, 1987.

PFENNIG, N. & TRÜPER, H.G. Isolation of Members of the Families Chromatiaceae and Chlorobiaceae. Edited by Starr, M.P.; Stolp, H.; Trüper, H.G.; Balows, A.; Schlegel H.G. The Prokaryotes, vol. 1. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 279-289 p.

PFENNIG, N. & WIDDEL, F. The bacteria of sulphur cycle. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B, vol. 298, n^o 1093, 1982. 433-441 p.

POSTGATE, J.R. Economic importance of sulphur bacteria. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series

B, vol. 298, n^o 1093, 1982. 583-600 p.

SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. Chemistry for Environmental Engineering. 3th editon. International Student Edition, McGrow-Hill Book Company, 1985. 532 p.

STAL, L.J.; VAN GEMERDEN, H.; KRUMBEIN, W.E. The simultaneous assay of chlorophyll and bacteriochlorophyll in natural microbial communities. Elsevier Science Publishers B. V., 1984.

Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 16th edition. Washington, 1985. 1268 p.

STANIER, R.Y.; ADELBERG, E.A.; INGRAHAM, J.L. General Microbiology. 4th edition. Macmillan Press Ltd, London, Basingstoke, 1977. 871 p.

STANIER, R.Y. & SMITH, J.H.C. The chlorophylls of green bacteria. Biochimic et Biophysica Acta, vol. 41, 1960. 478-484 p.

TAKAHASHI, M. & ICHIMURA, S. Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulfur bacteria in Japanese lakes. Limnology and Oceanography, vol. 13, n^o 4, 1968. 644-655 p.

TRÜPER, H.G. Sulfur metabolism in Thiorhodaceae - II. Stoichiometric relationship of CO₂ fixation to oxidation of hydrogen sulphide and intracellular sulphur in Chromatium okenii. Antonie van Leeuwenhoek, vol. 30, 1964. 385-394 p.

TRÜPER, H.G. & FISCHER, U. Anaerobic oxidation of sulphur compounds as electron donors for bacterial photosynthesis.

Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B, vol. 298, n^o 1093, 1982. 529-542 p.

TRÜPER, H.G. & PFENNIG, N. Taxonomy of the Rhodospirillales. Edited by Clayton, R.K. & Sistrom, W.R. The Photosynthetic Bacteria, Plenum Press, London, 1978. 19-27 p.

TRÜPER, H.G. & PFENNIG, N. Characterization and Identification of the Anoxic Phototrophic Bacteria. Edited by Starr, M.P.; Stolp, H.; Trüper, H.G.; Balows, A.; Schegel H.G. The Prokaryotes, vol. 1. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 299-312 p.

TRÜPER, H.G. & YENTSCH, C.S. Use of Glass Fiber Filters for the Rapid Preparation of In Vivo Absorption Spectra of Photosynthetic Bacteria. Journal of Bacteriology, vol. 94, n^o 4, 1967. 1255-1256 p.

VAN GEMERDEN, H. Production of elemental sulfur by green and purple sulfur bacteria. Archives of Microbiology. vol. 146, 1986. 52-56 p.

VAN GEMERDEN, H.; MONTESINOS, E.; MAS, J.; GUERRERO, R. Diel cycle of metabolism of phototrophic purple sulfur bacteria in Lake Cisõ (Spain). Limnology and Oceanography, vol. 30, n^o 5, 1985. 932-943 p.

WHITNEY, D.E. & DARLEY, W.M. A method for the determination of Chlorophyll a in samples containing degradation products. Limnology and Oceanography, vol. 24, 1979. 183-186 p.

A N E X O

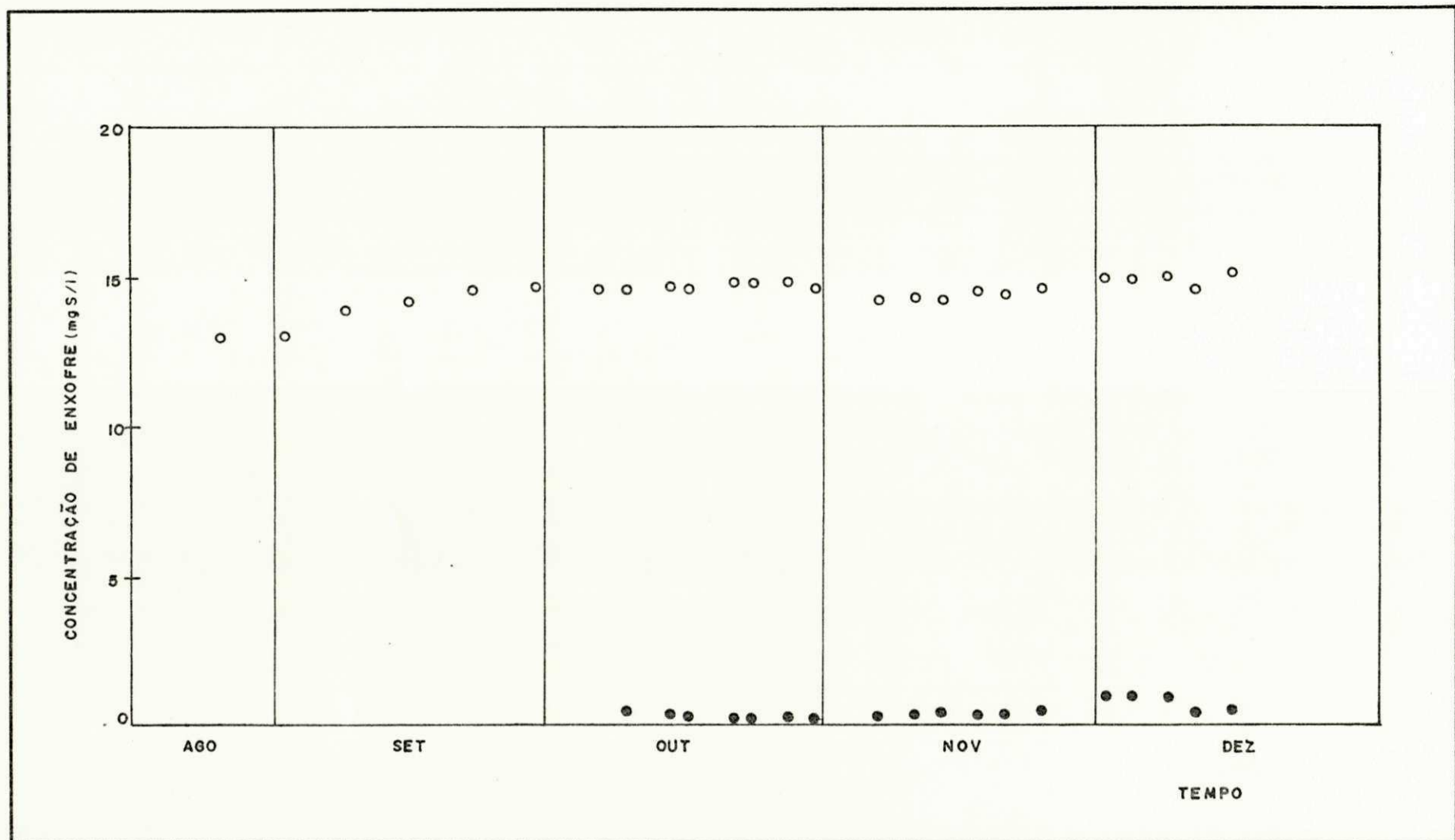


FIG.4.1—VARIACÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O) E SULFETO TOTAL (●) NO ESGOTO BRUTO, COM BASE NAS MÉDIAS MÓVEIS 3 A 3.

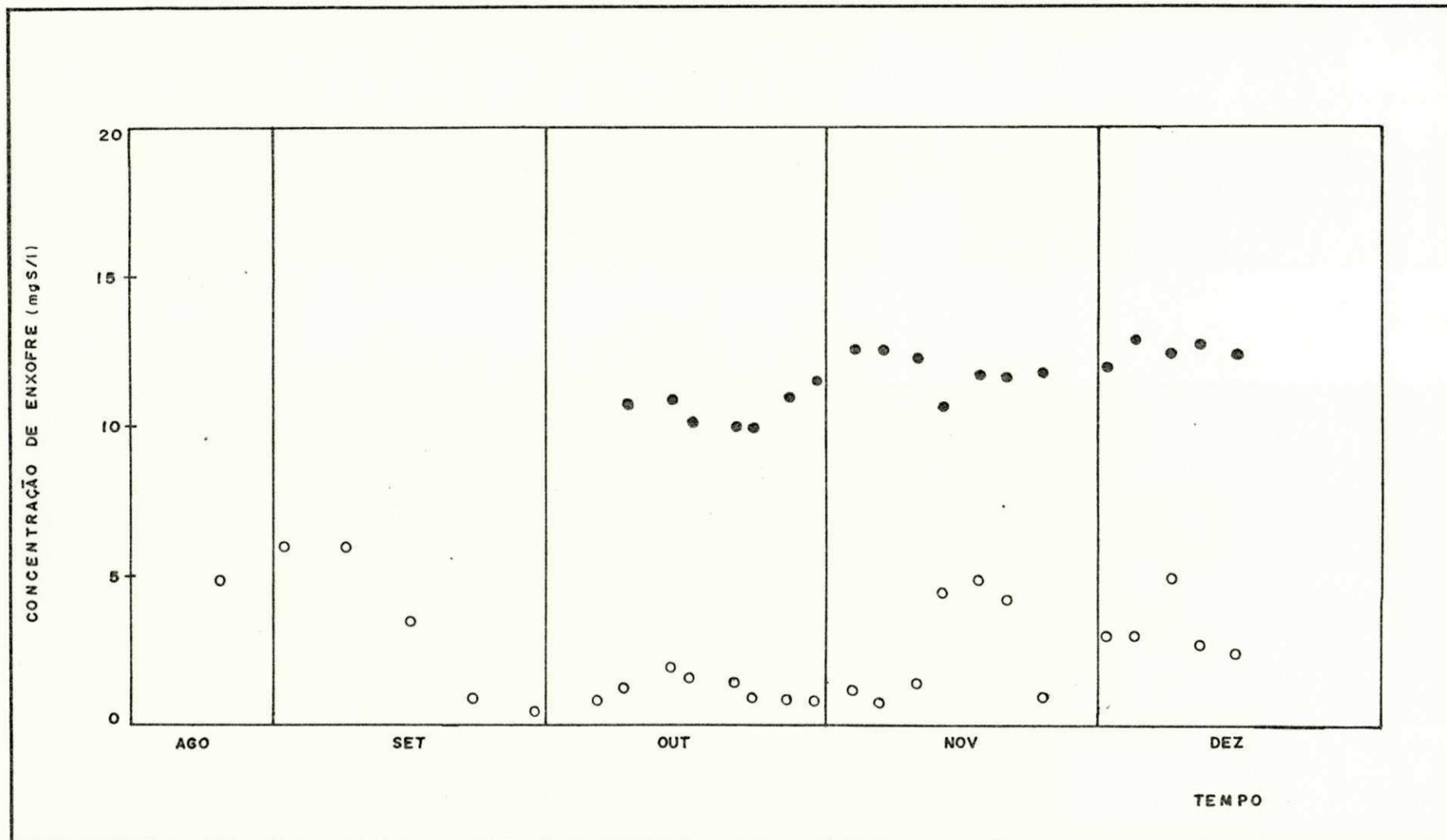


FIG. 4.2- VARIAÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O) E SULFETO TOTAL (●) NO EFLUENTE DA LAGOA ANAERÓBIA (A₇), COM BASE NAS MÉDIAS MÓVEIS 3 A 3.

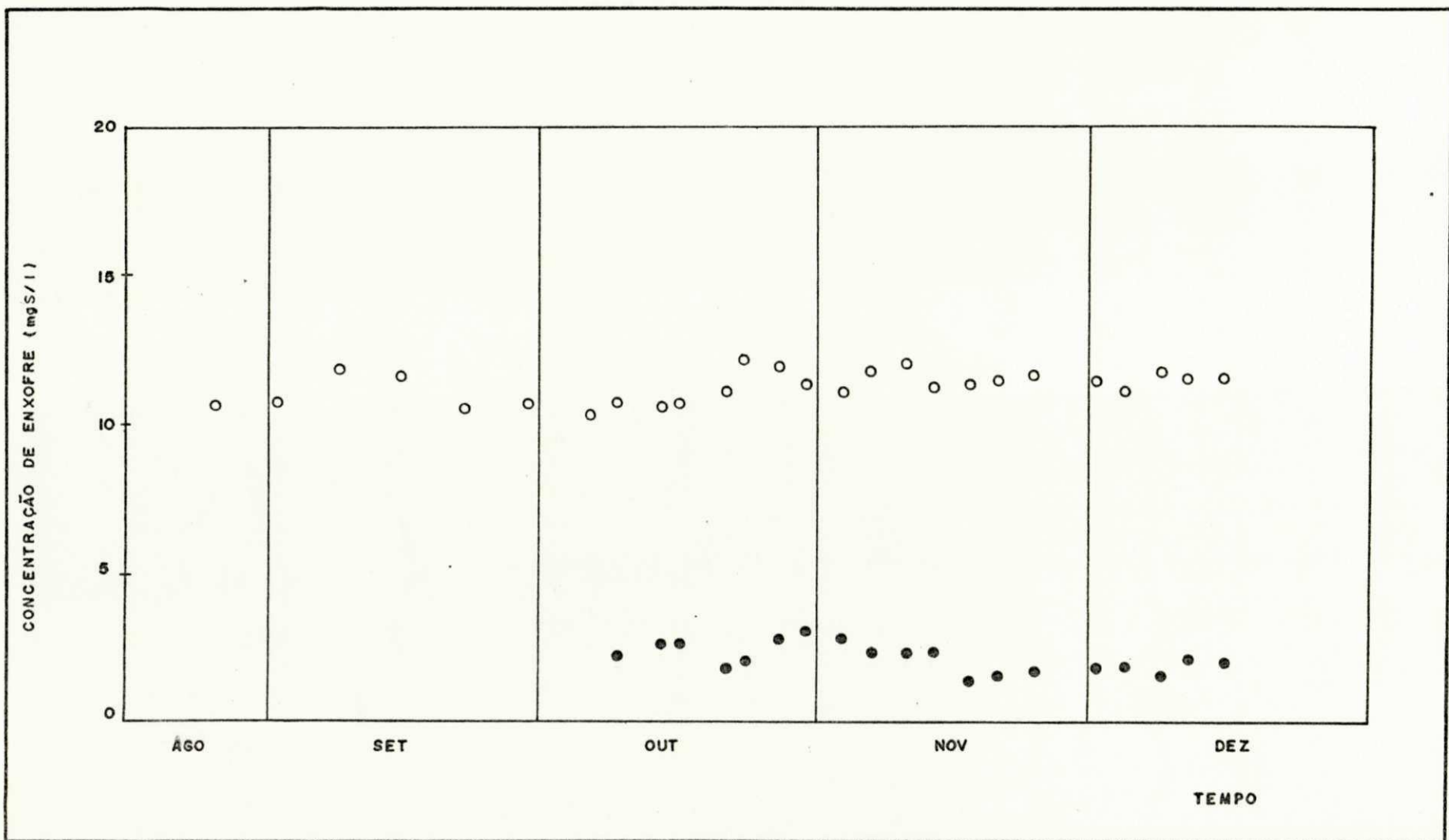


FIG.4.4-VARIAÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O) E SULFETO TOTAL (●) NO EFLUENTE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), COM BASE NAS MÉDIAS MÓVEIS 3 A 3.

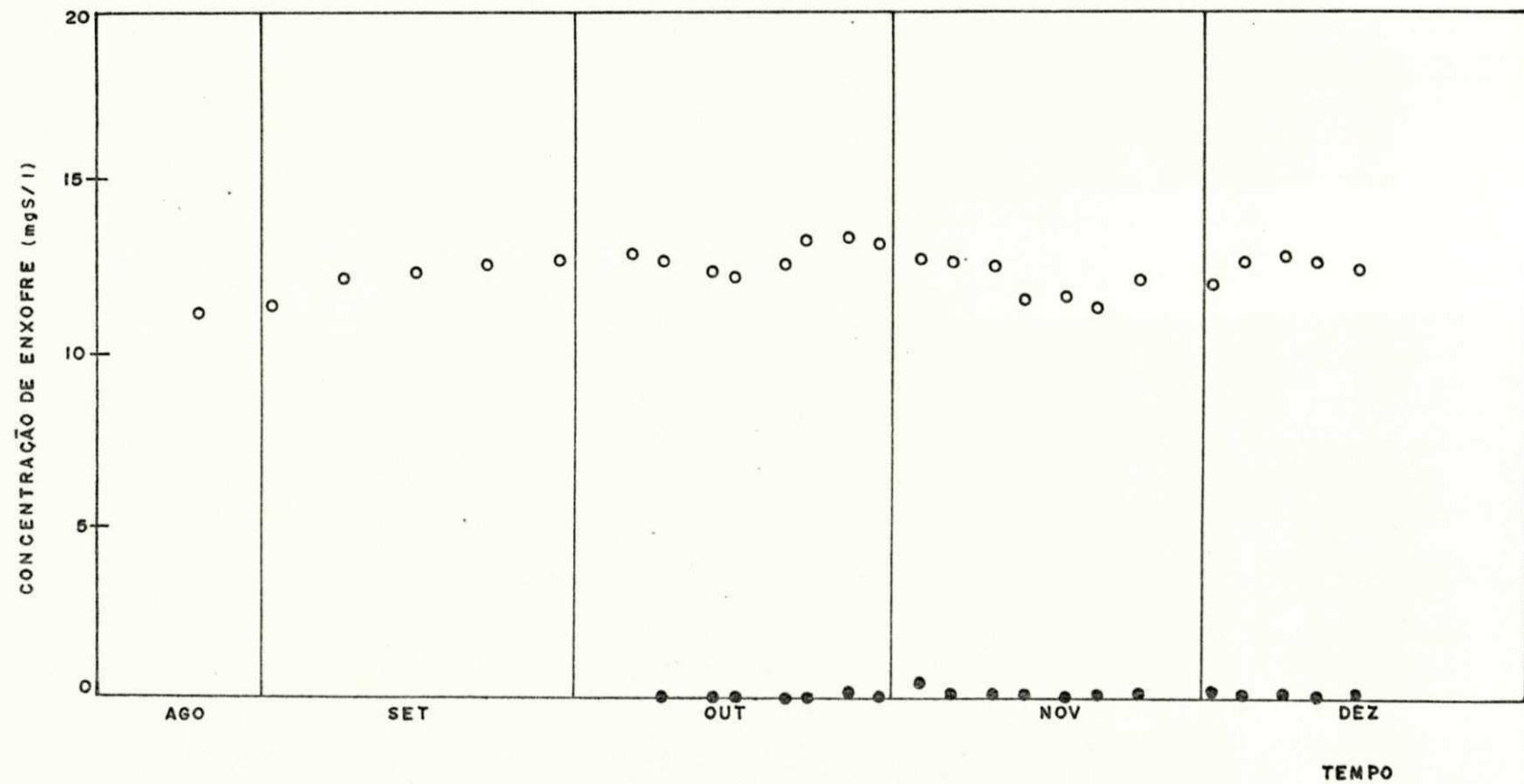


FIG.4.5-VARIAÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) NO EFLUENTE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), COM BASE NAS MÉDIAS MÓVEIS 3 A 3.

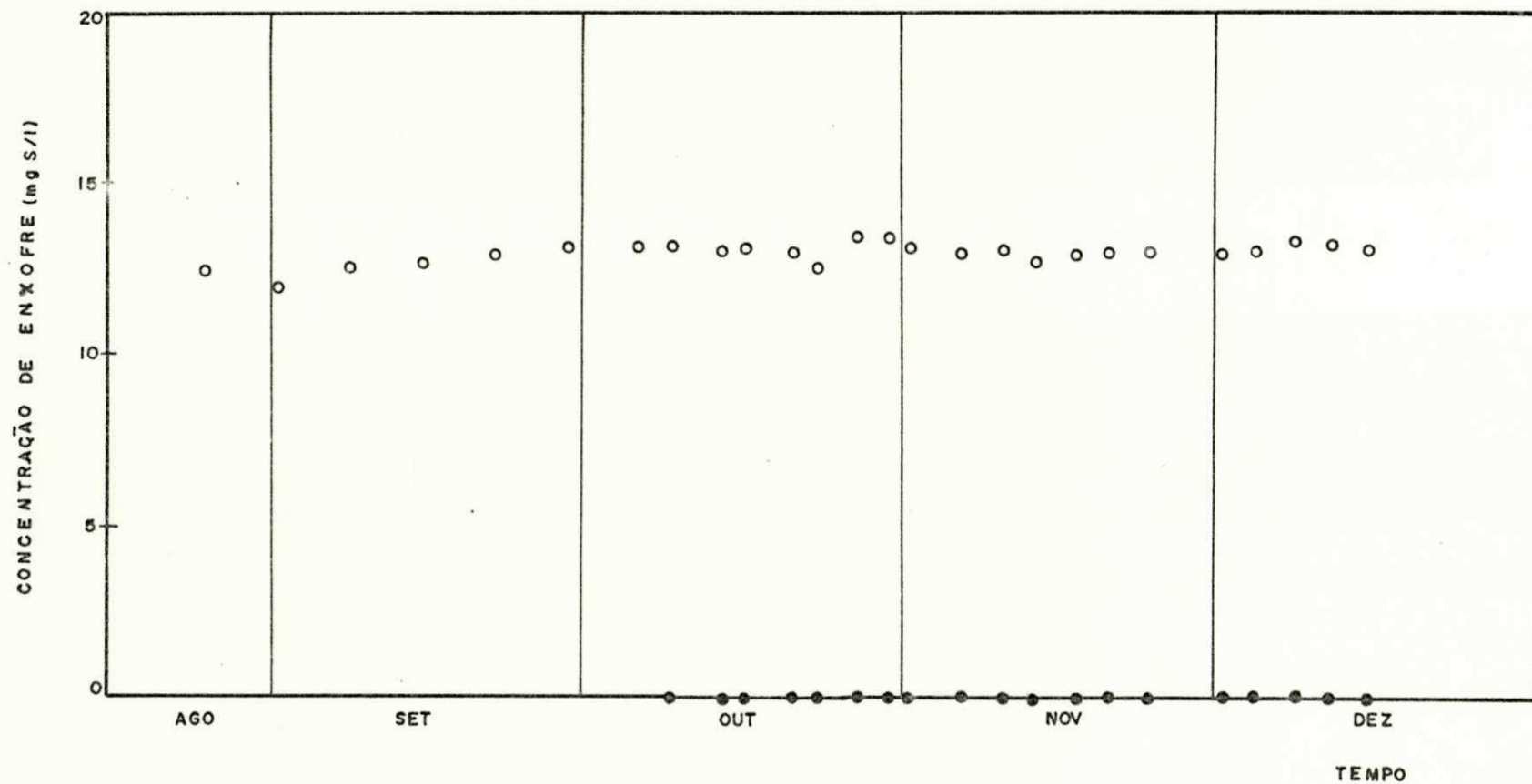


FIG.4.6—VARIÇÃO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O) E SULFETO TOTAL (●) NO EFLUENTE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₉), COM BASE NAS MÉDIAS MÓVEIS 3 A 3.

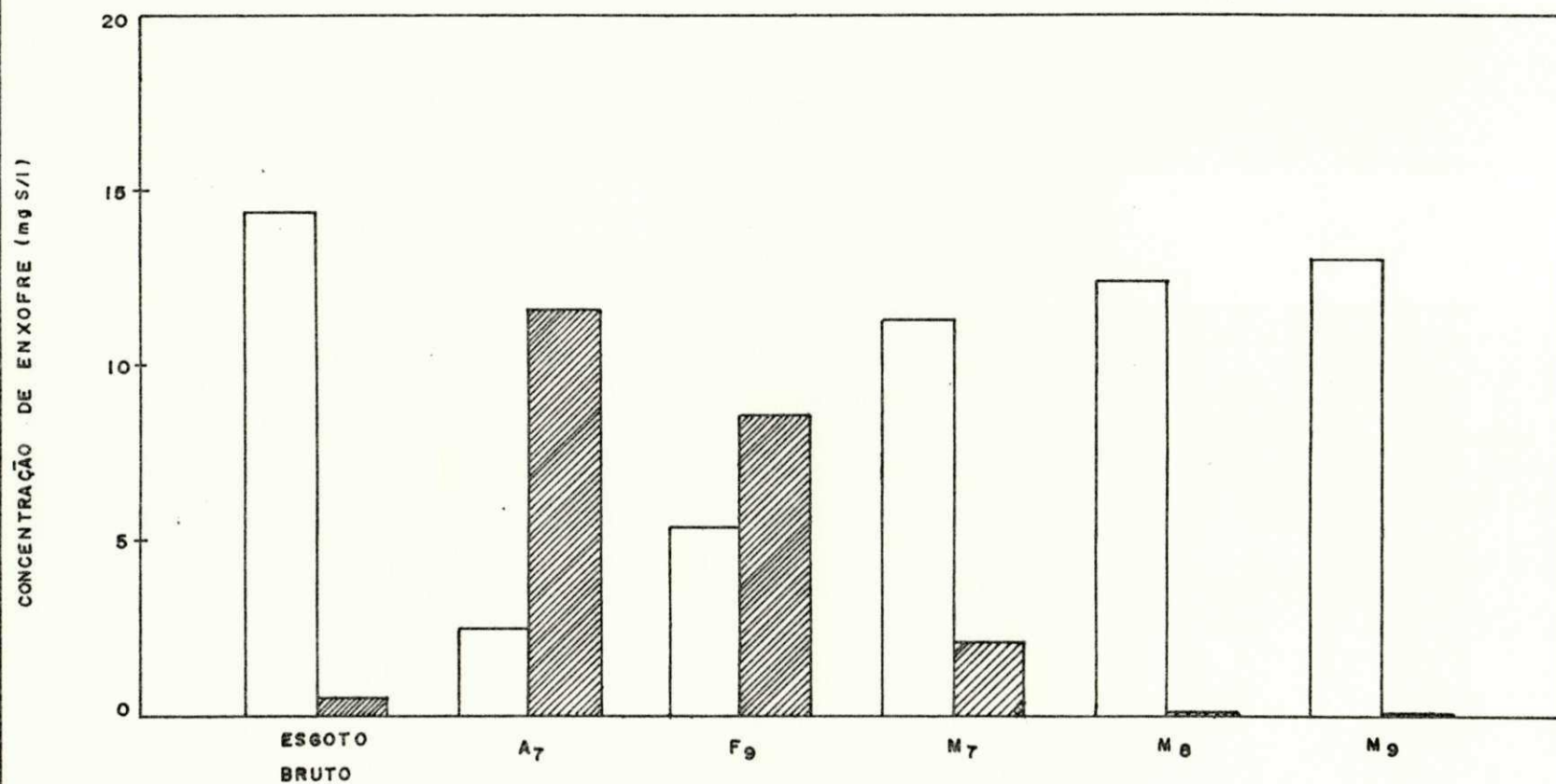
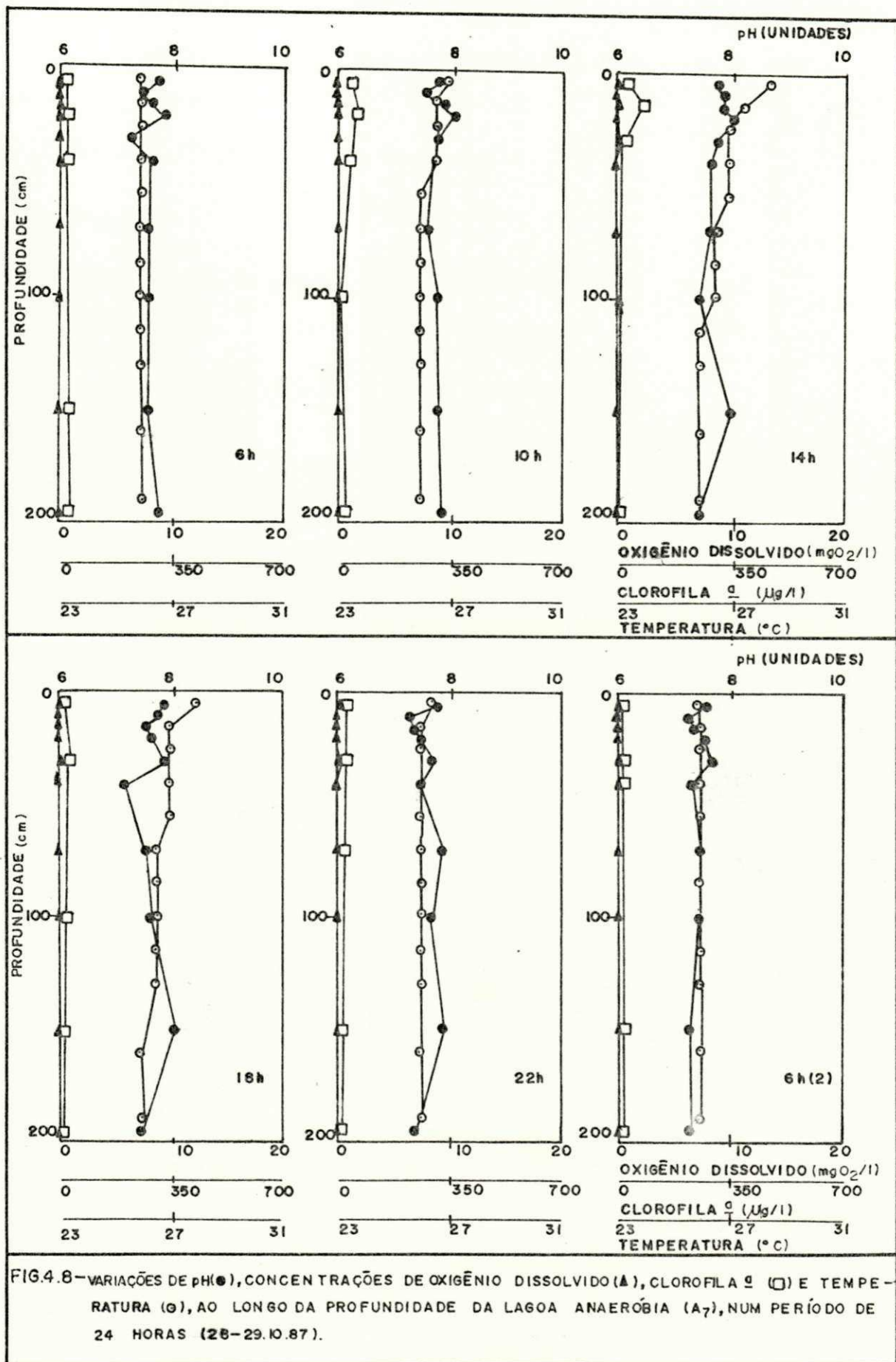
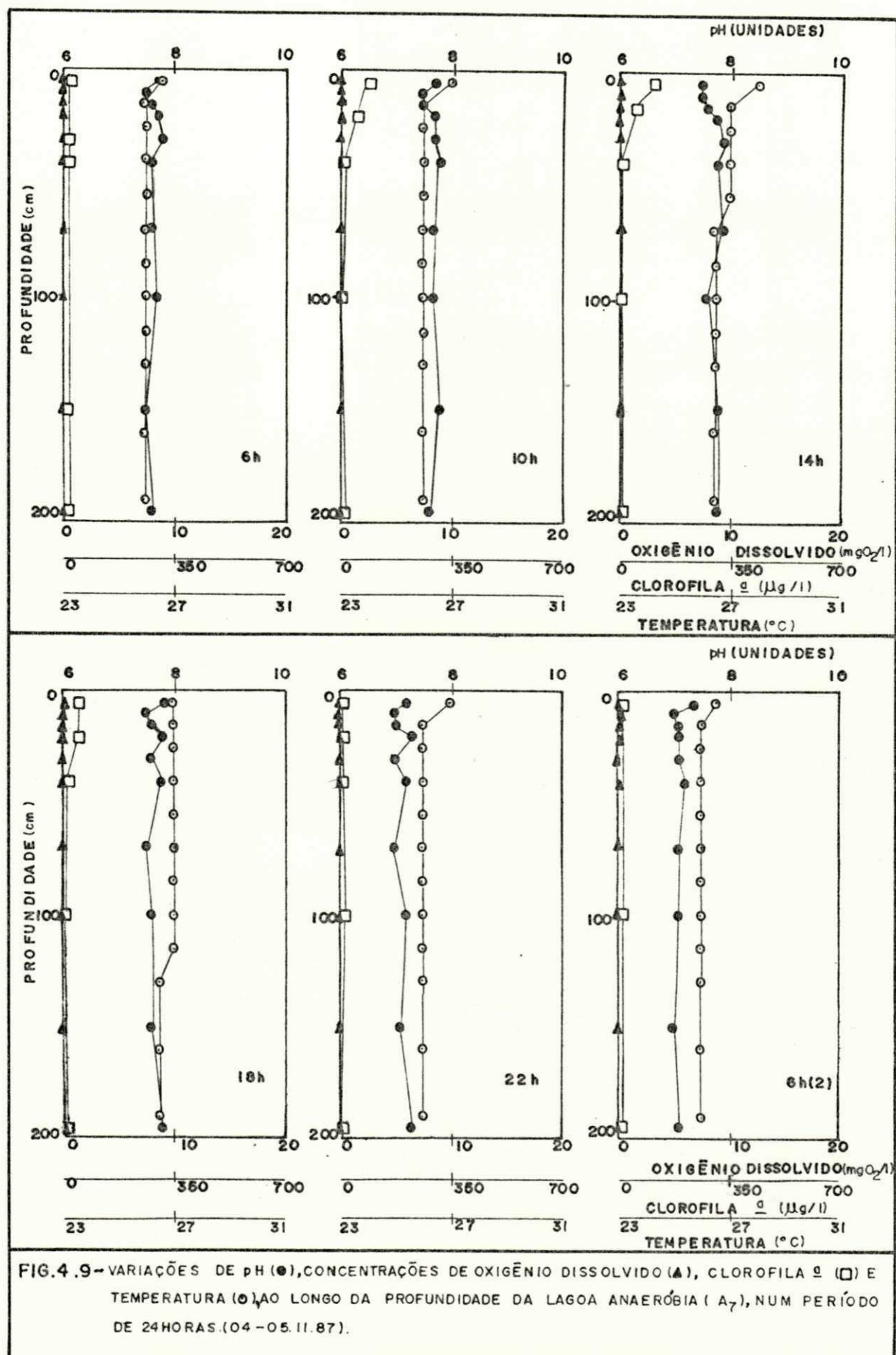


FIG.4.7- CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (□) E SULFETO TOTAL (▨) NOS VÁRIOS ESTÁGIOS DO SISTEMA EXPERIMENTAL, COM BASE NAS MÉDIAS DE AMOSTRAS DIÁRIAS DE AGOSTO A DEZEMBRO DE 1987.





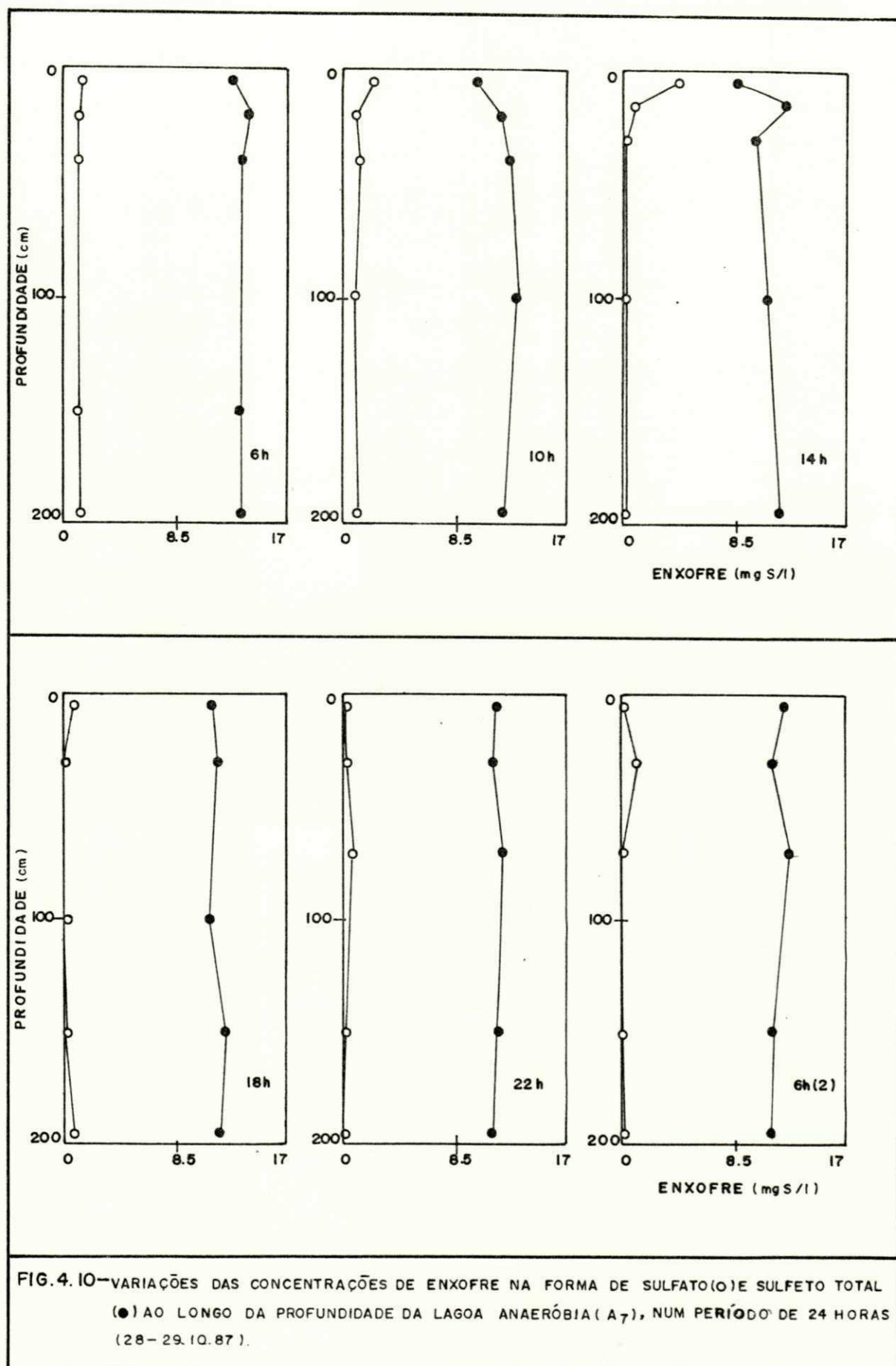


FIG. 4.10—VARIACÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA ANAERÓBIA (A₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (28-29.10.87).

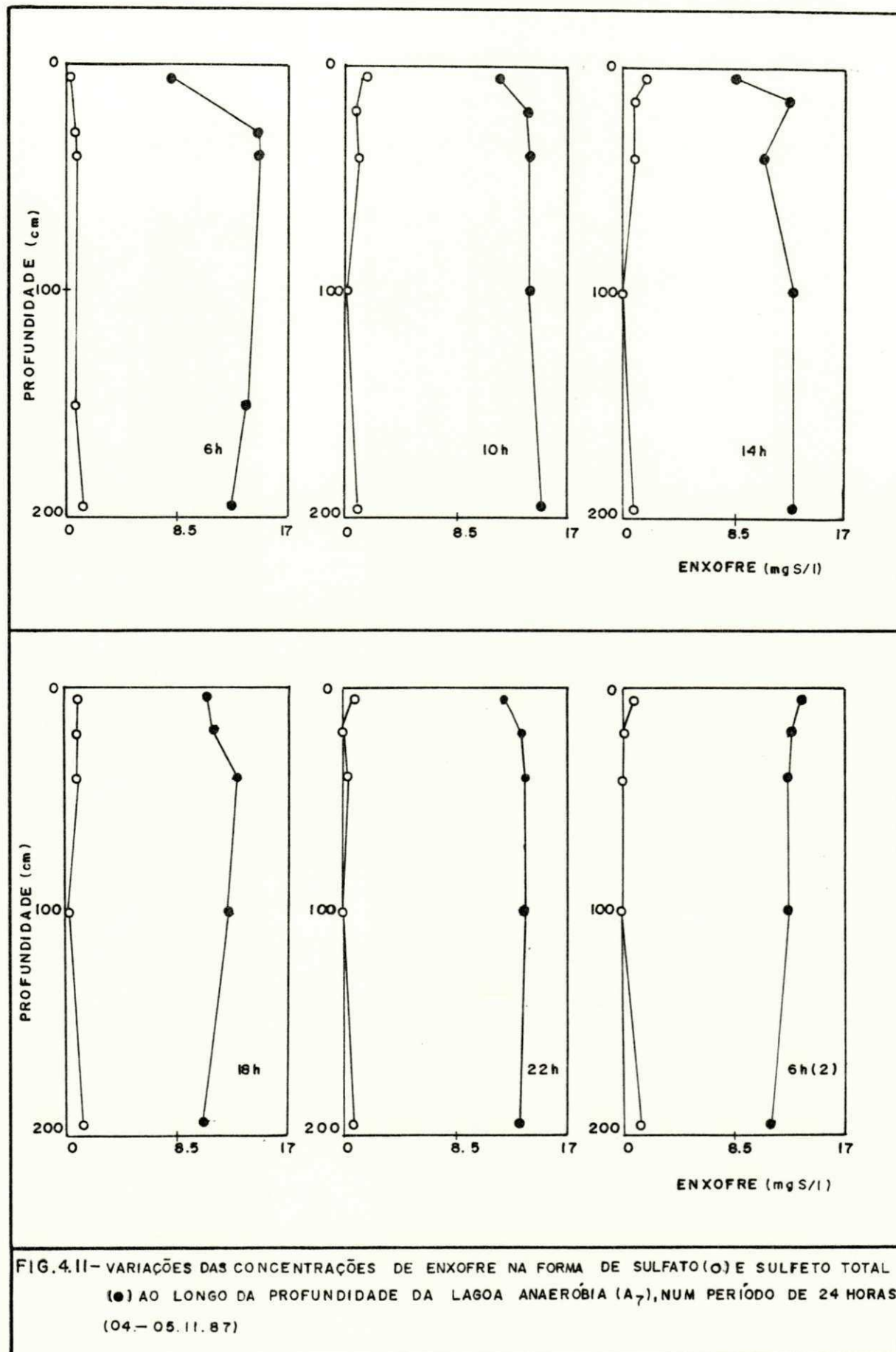


FIG. 4.11- VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA ANAERÓBIA (A₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (04.-05.11.87)

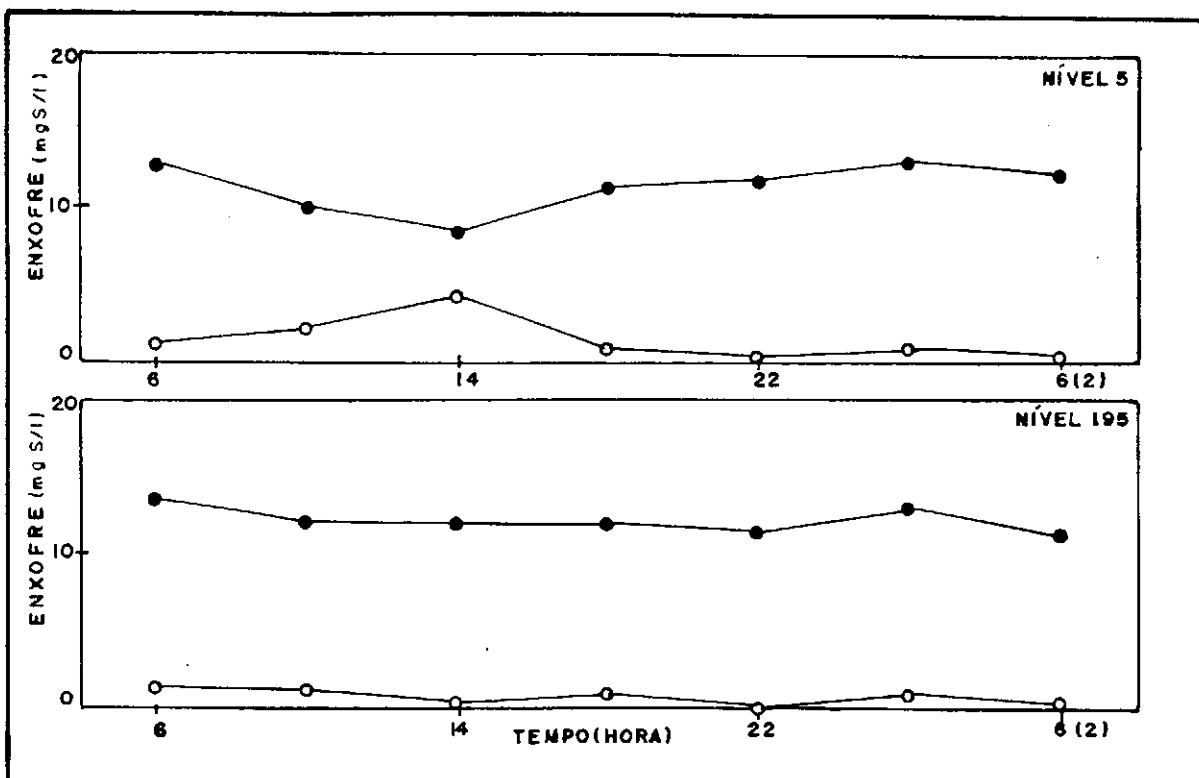


FIG.4.12-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195 cm DA LAGOA ANAERÓBIA (A₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (28-29.10.87).

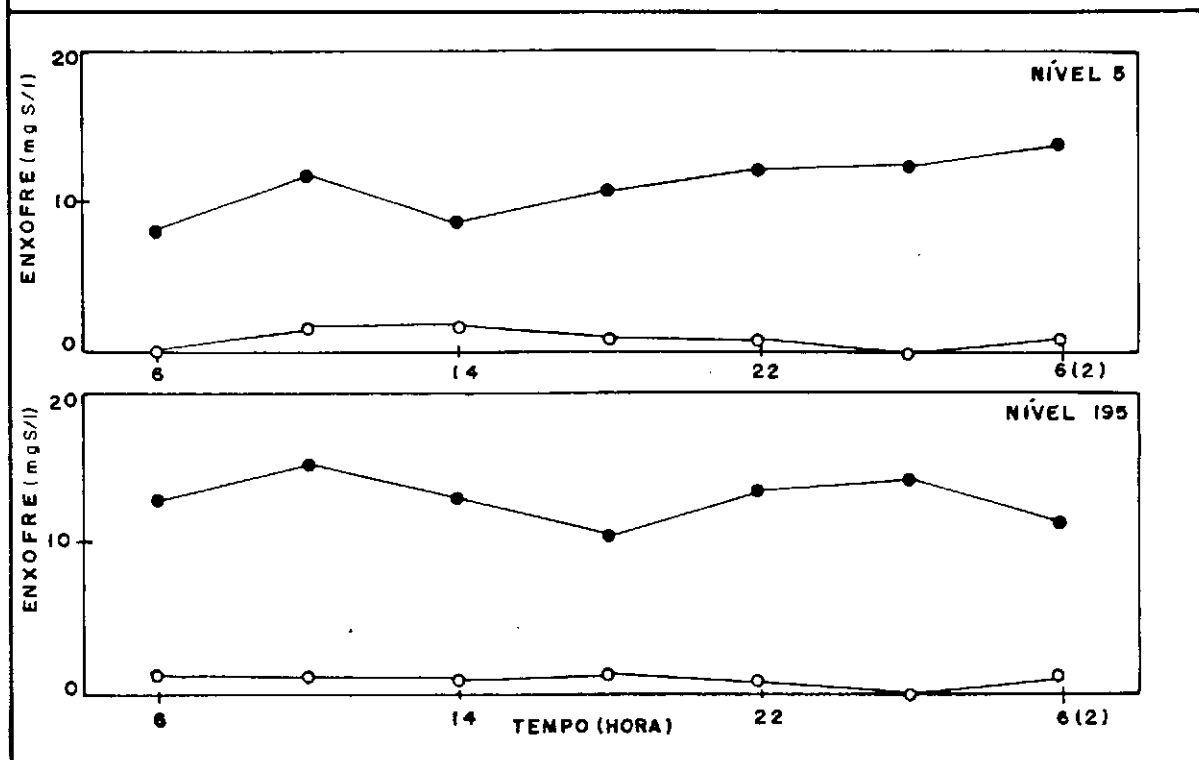


FIG.4.13-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA ANAERÓBIA (A₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (04-05.11.87).

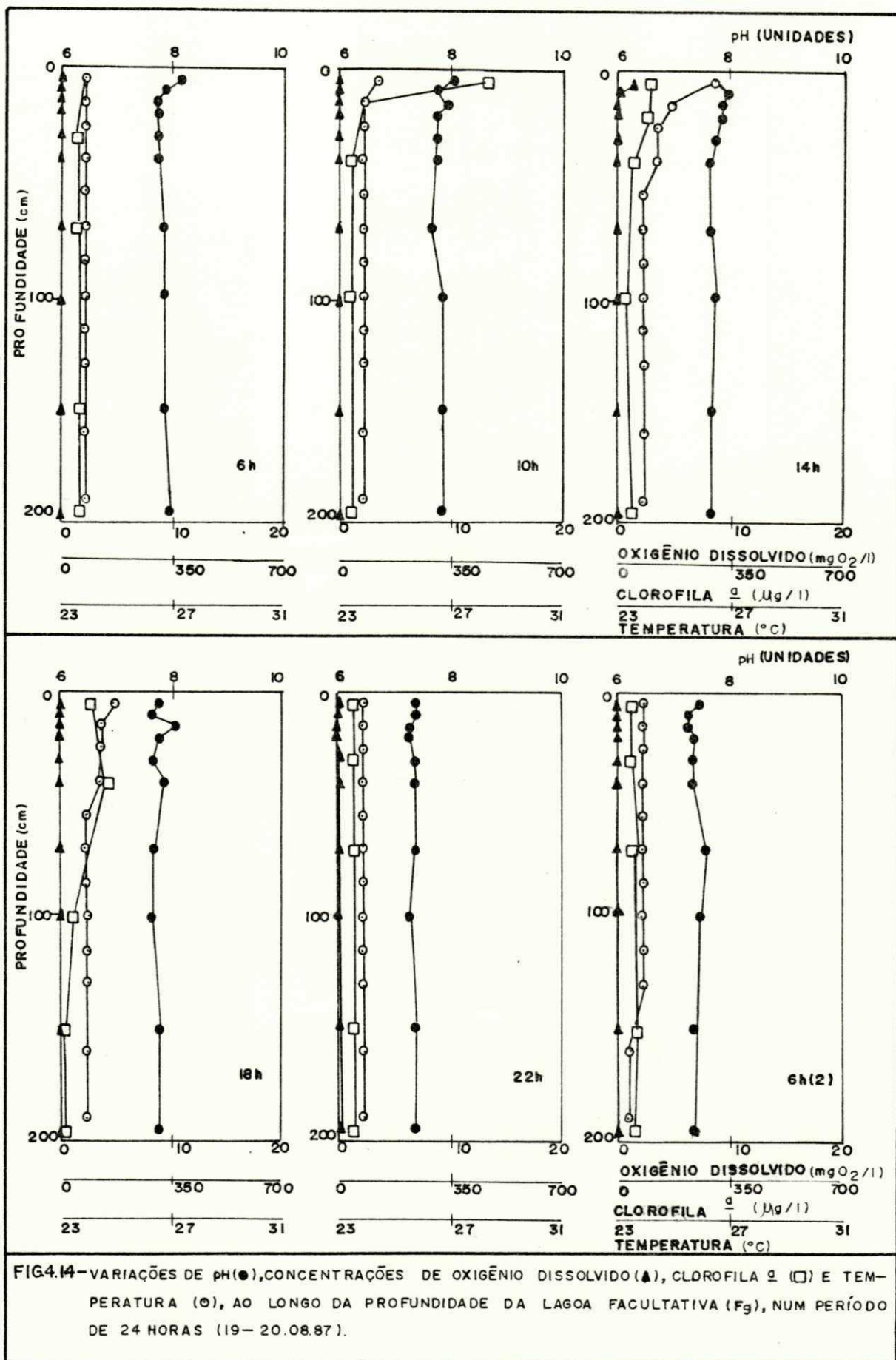
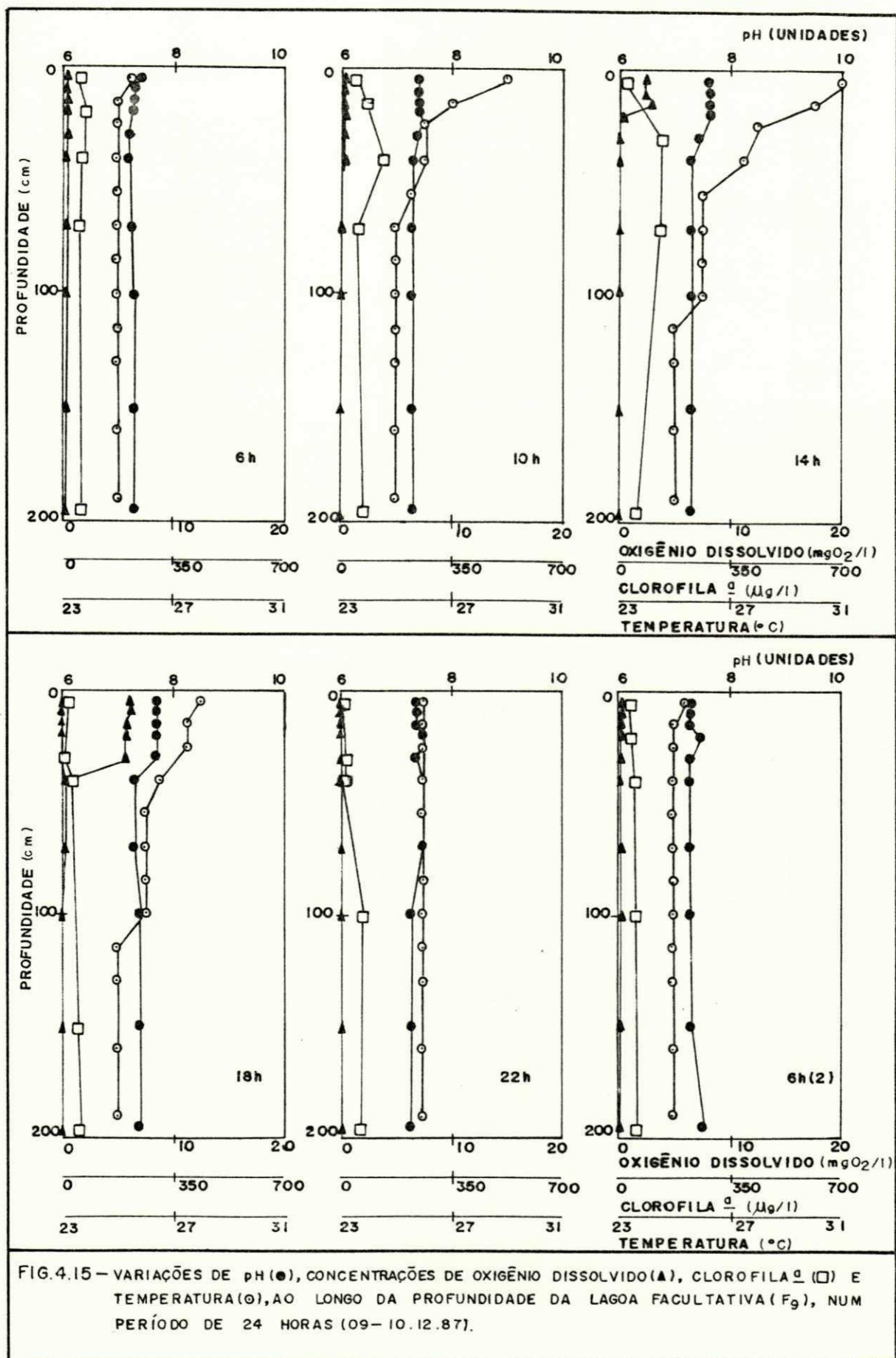


FIG.4.14-VARIAÇÕES DE pH(●),CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO(▲), CLOROFILA a (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA FACULTATIVA (Fg), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (19-20.08.87).



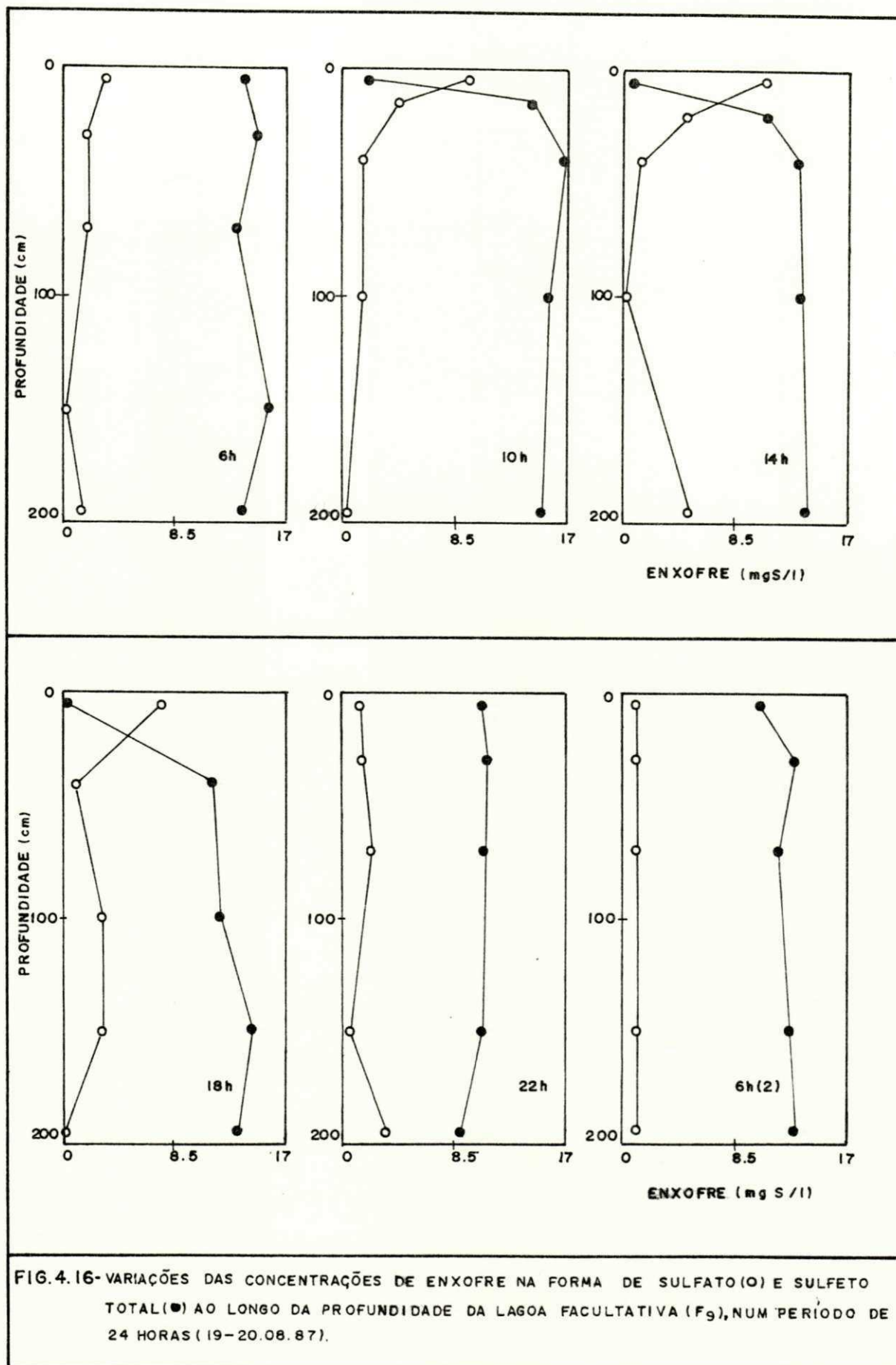


FIG. 4.16-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO(O) E SULFETO TOTAL(●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA FACULTATIVA (F₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (19-20.08.87).

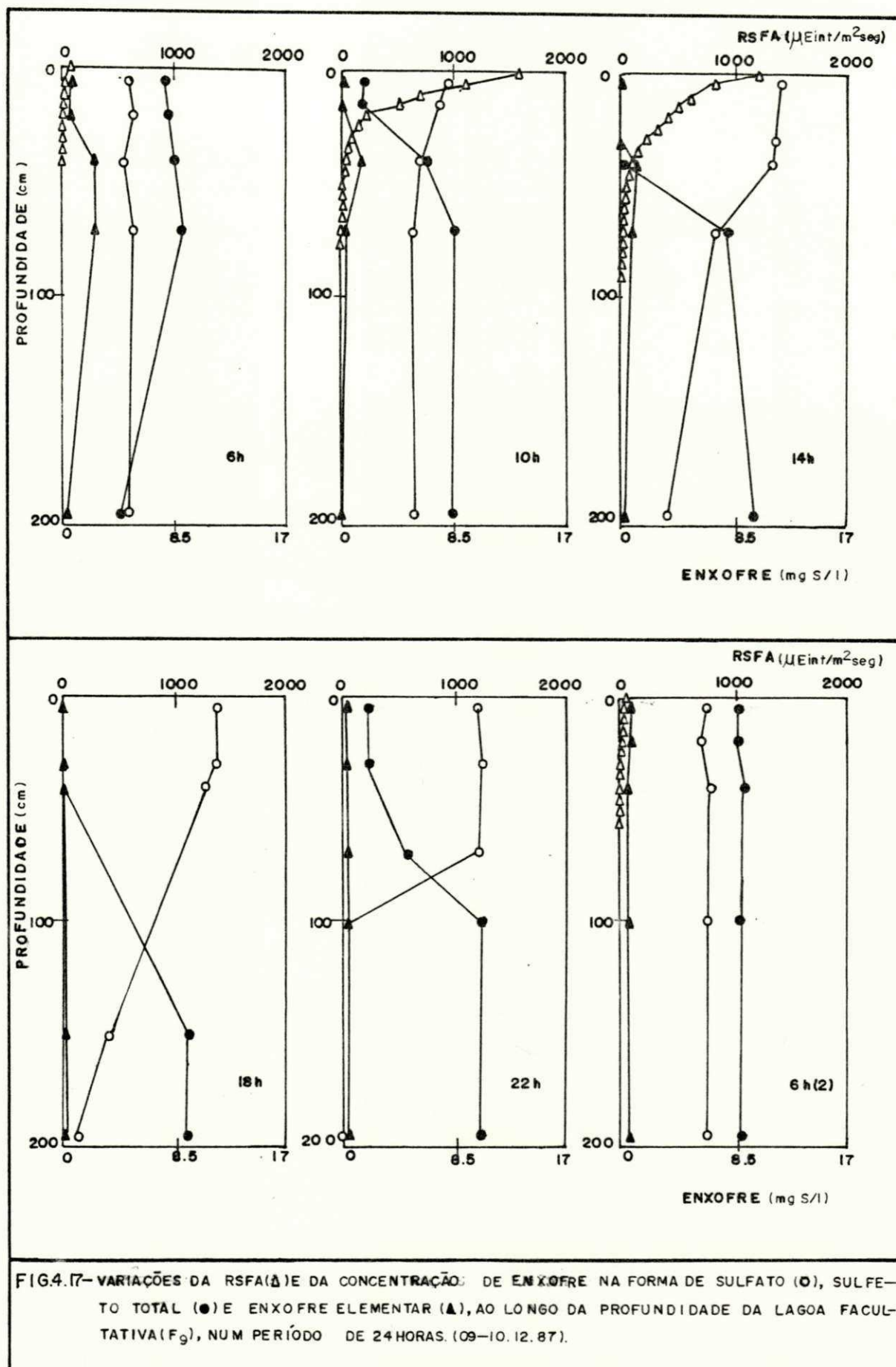


FIG.4.17-VARIAÇÕES DA RSFA(Δ)E DA CONCENTRAÇÃO DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○), SULFATO TOTAL (●)E ENXOFRE ELEMENTAR (▲),AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA FACULTATIVA(F₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (09-10.12.87).

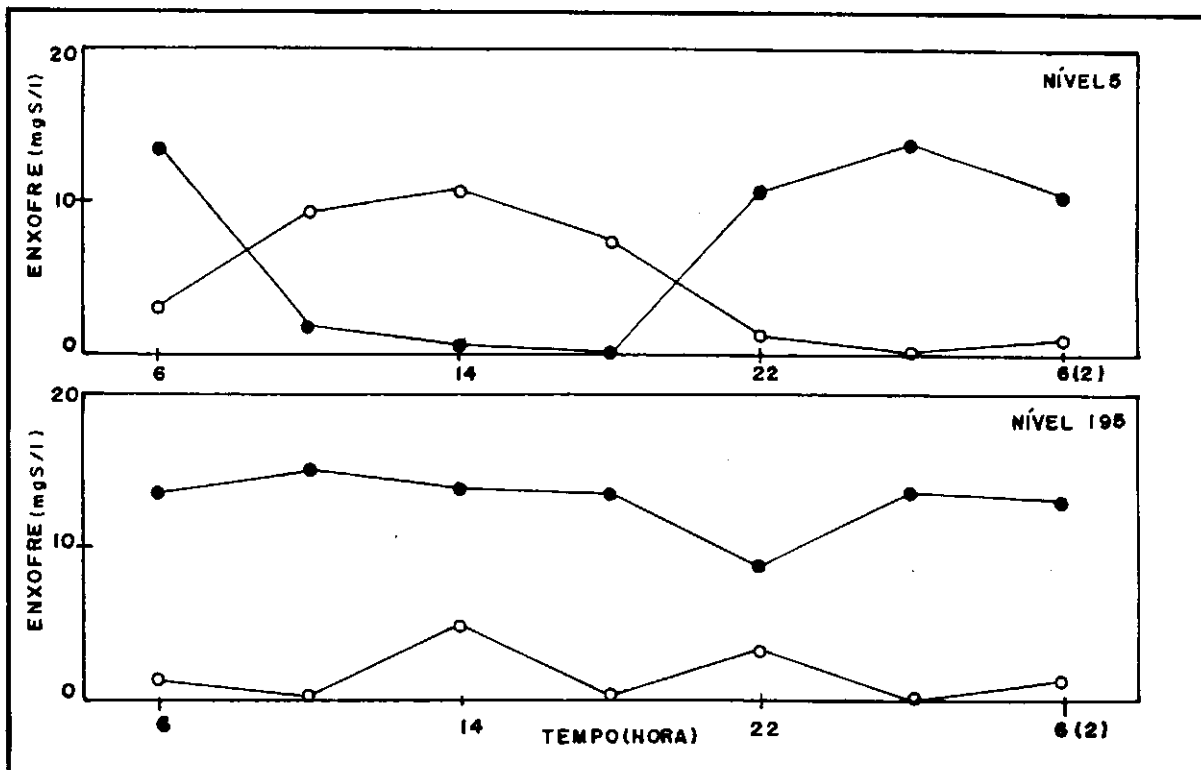


FIG.4.18— VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA FACULTATIVA (F₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (19-20.08.87).

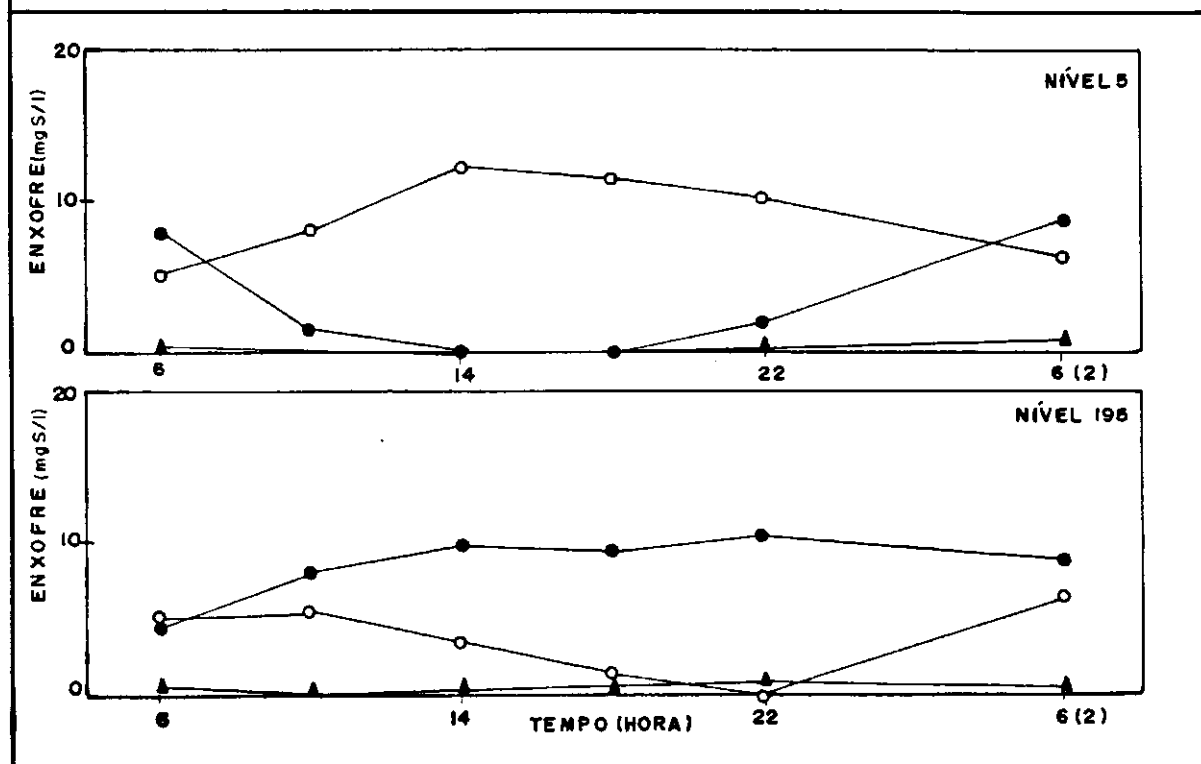


FIG.4.19— VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR (▲) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA FACULTATIVA (F₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (09-10.12.87).

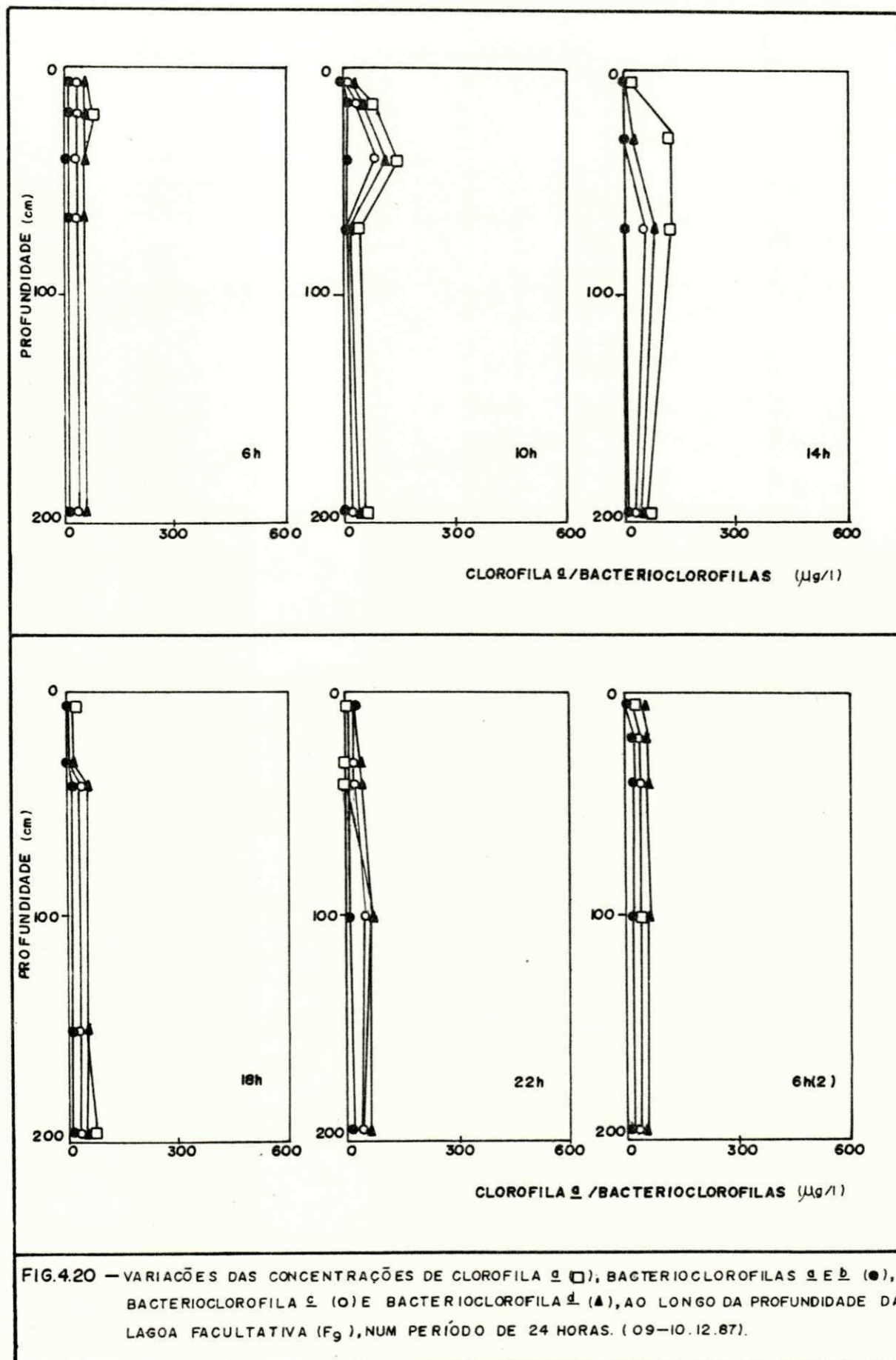


FIG.4.20 - VARIACÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA a (□), BACTERIOCLOROFILAS a e b (●), BACTERIOCLOROFILA a (○) E BACTERIOCLOROFILA a (▲), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA FACULTATIVA (F₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (09-10.12.87).

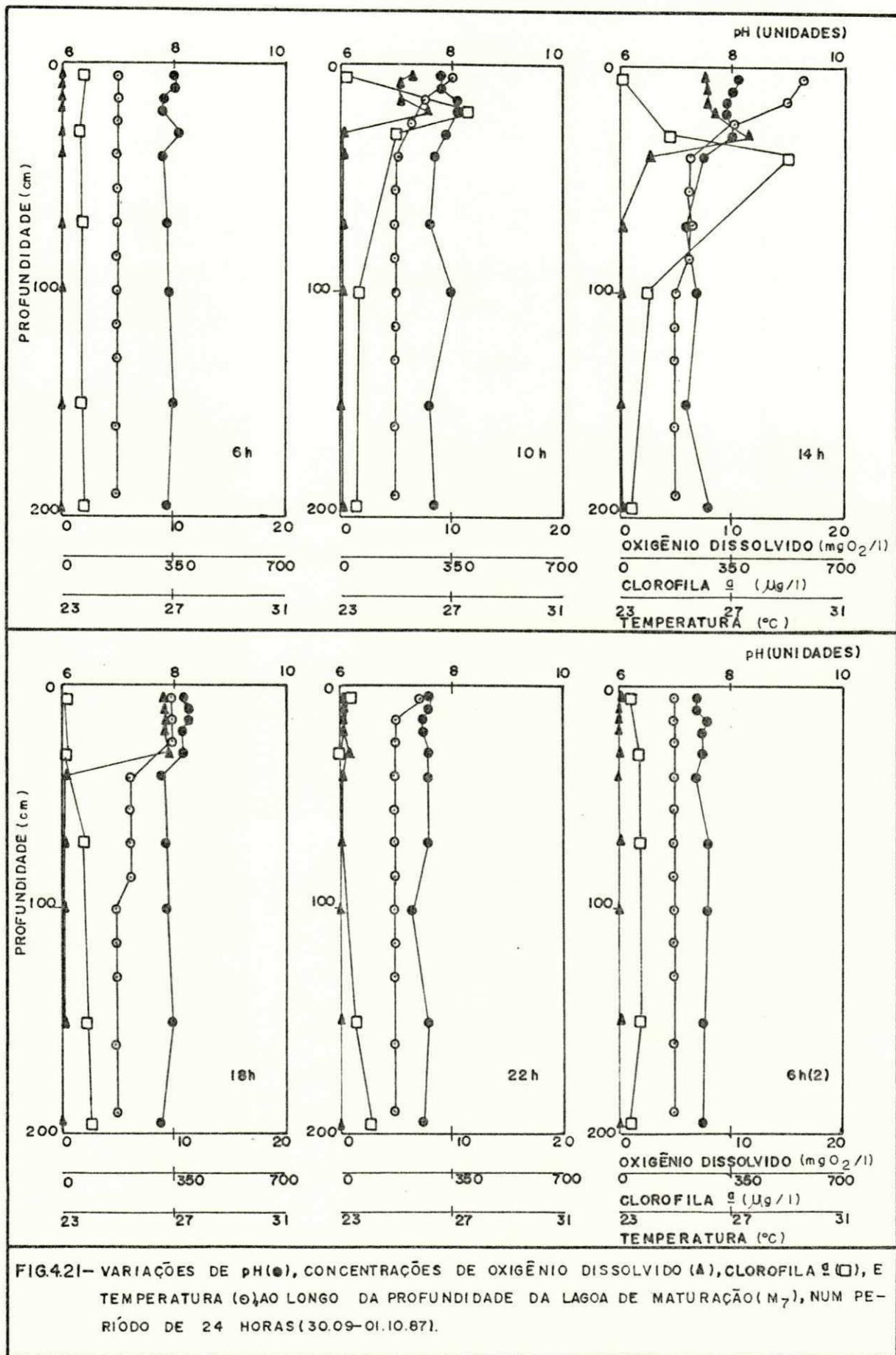


FIG.4.21- VARIAÇÕES DE pH(●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA μ g/l (□), E TEMPERATURA (○) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (30.09-01.10.87).

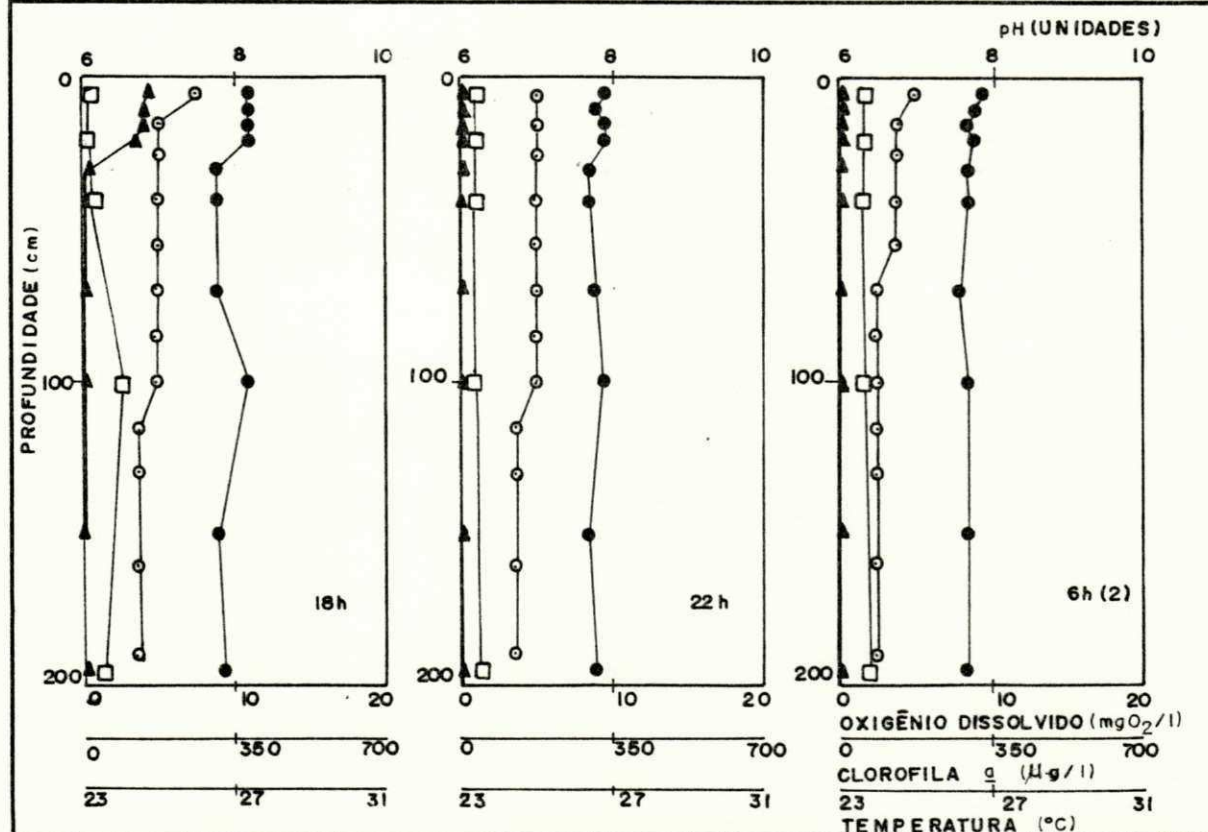
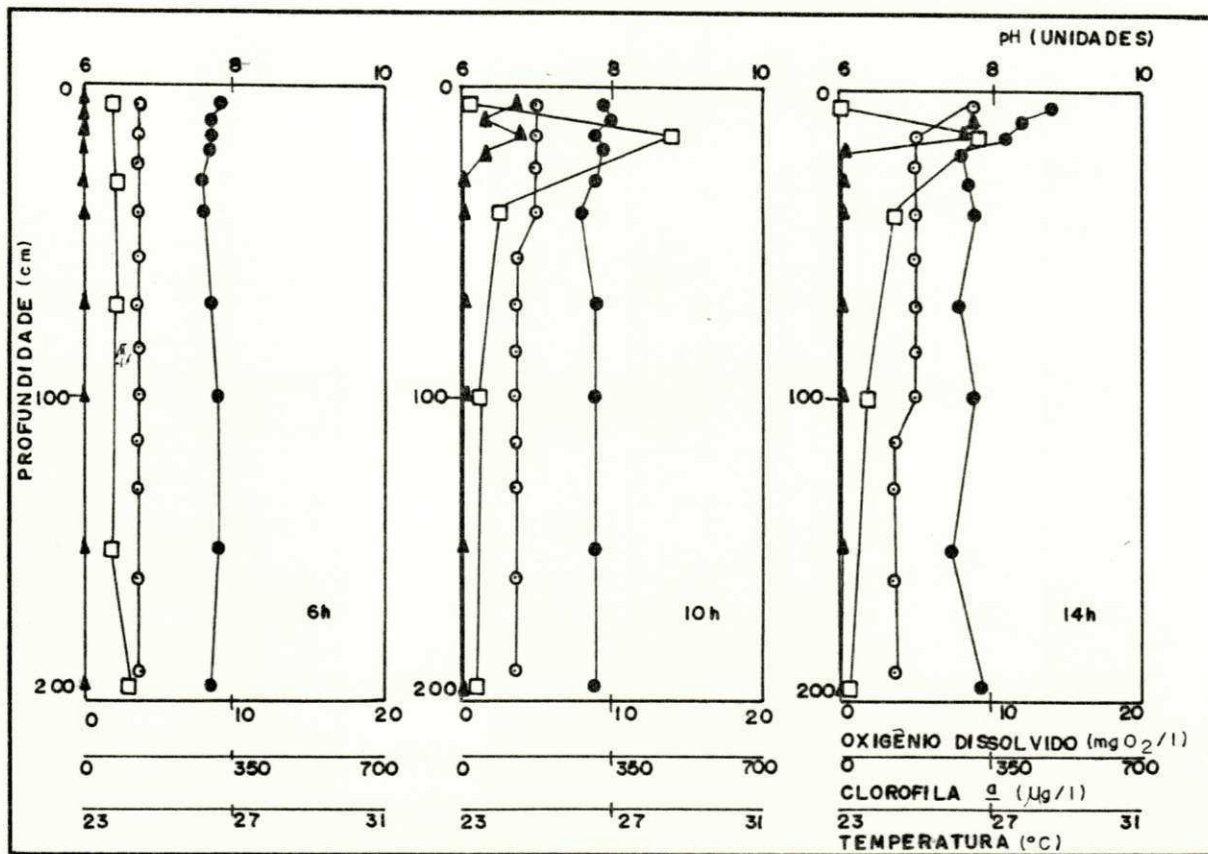


FIG. 422— VARIACÕES DE pH (●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA a (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (07—08. 10.87).

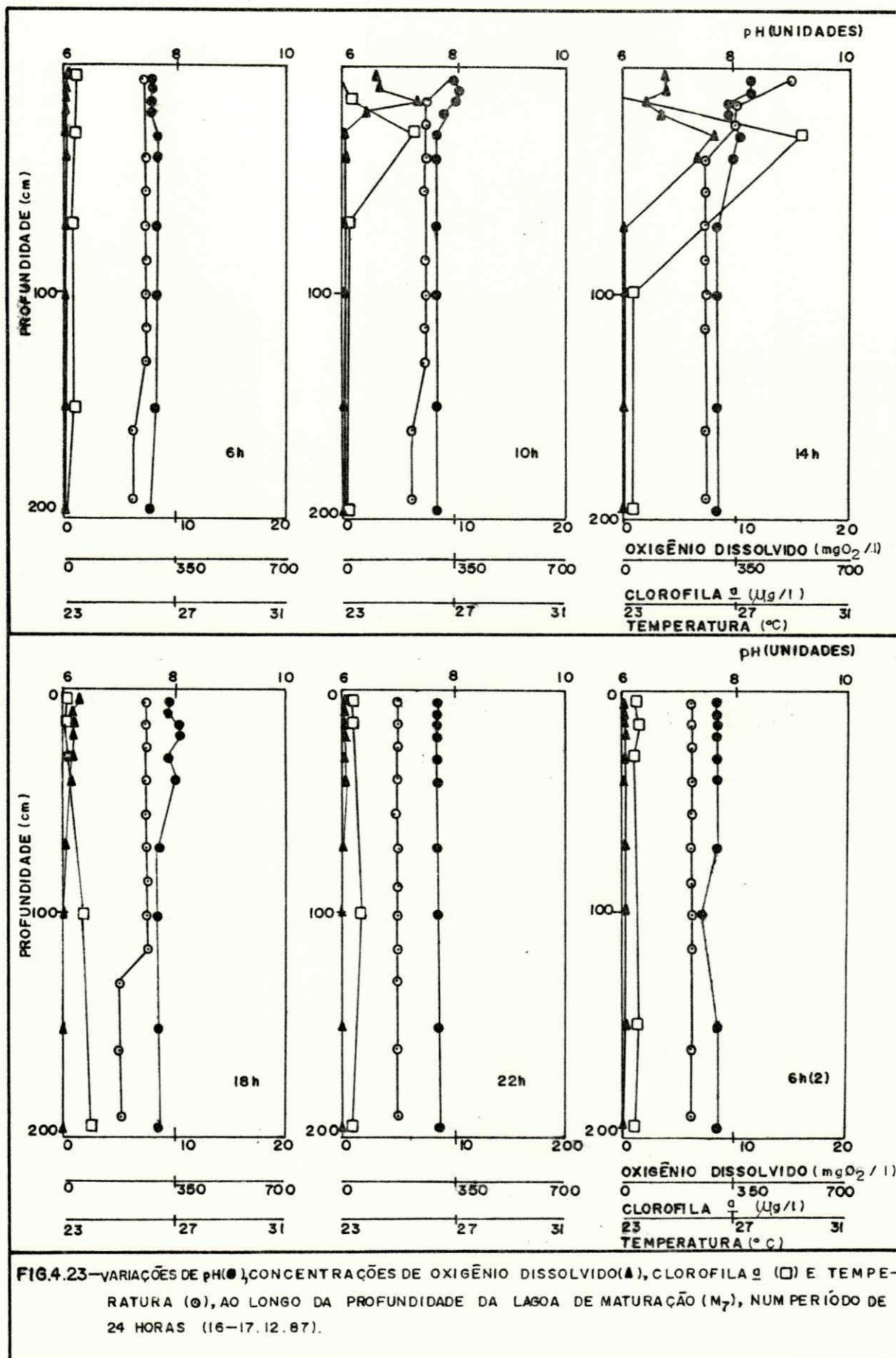


FIG.4.23—VARIÇÕES DE pH(●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO(▲), CLOROFILA *a* (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATUREÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (16-17.12.87).

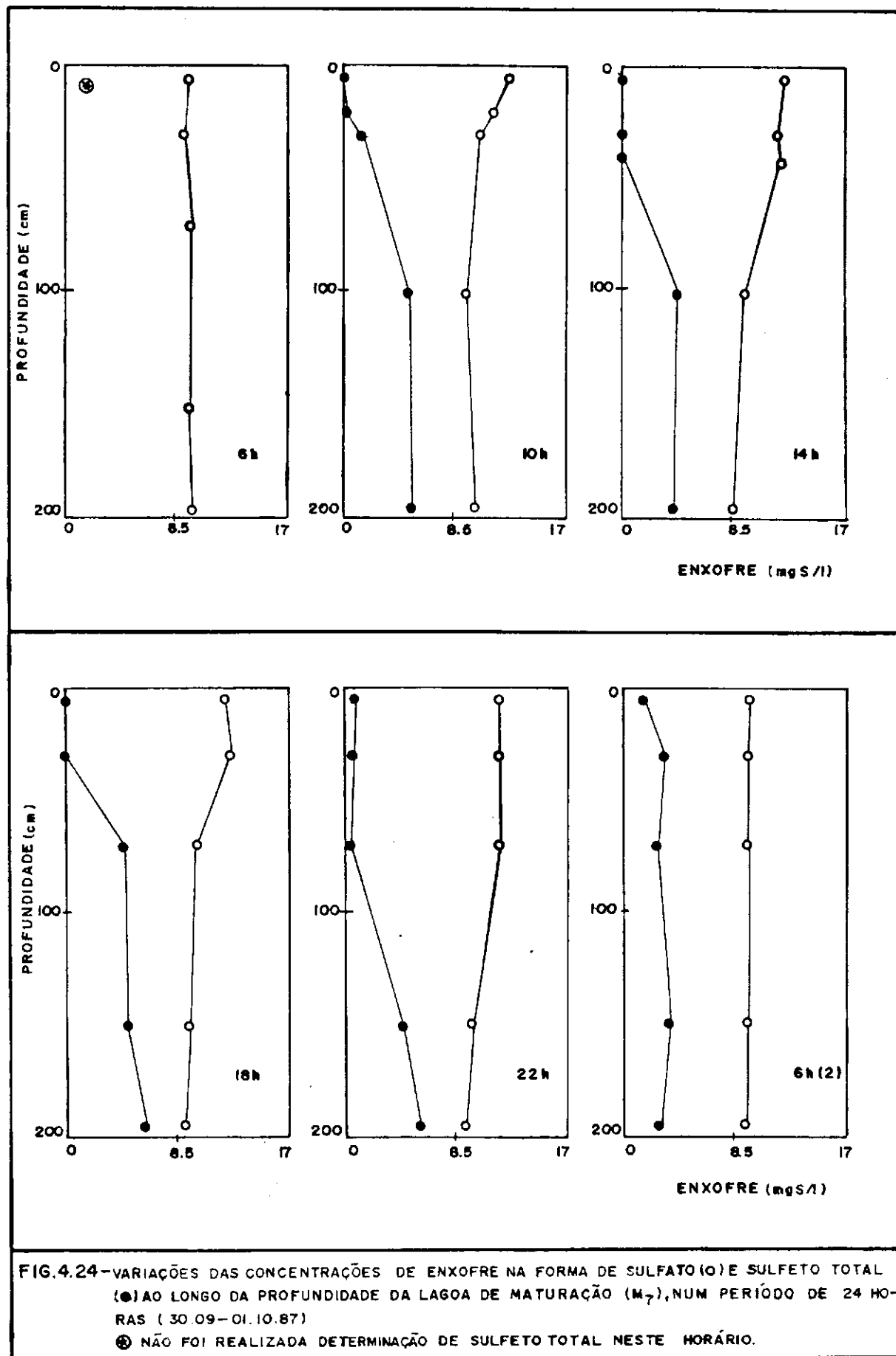


FIG.4.24-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (30.09-01.10.87)

⊗ NÃO FOI REALIZADA DETERMINAÇÃO DE SULFETO TOTAL NESTE HORÁRIO.

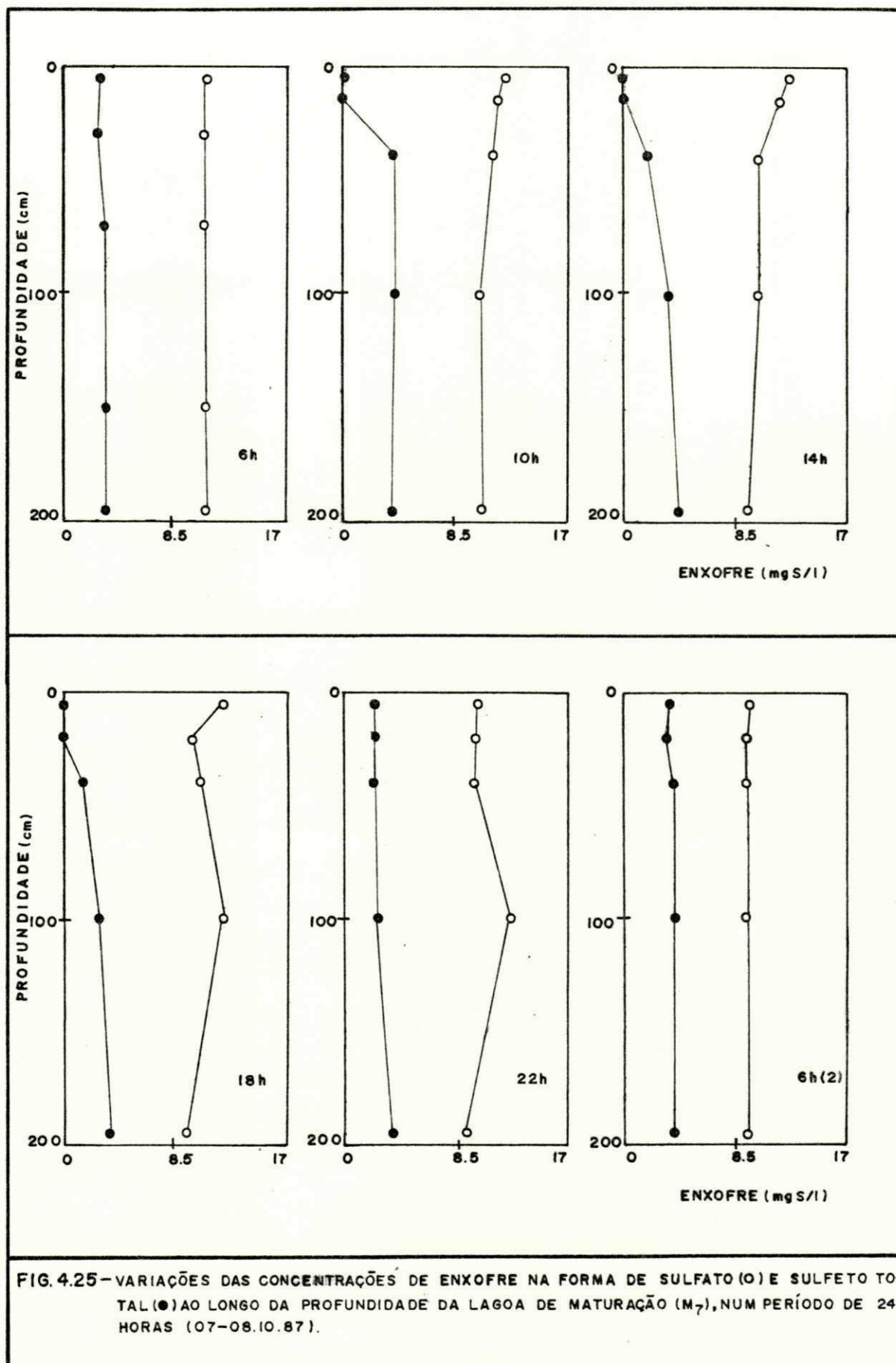


FIG. 4.25 - VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (07-08.10.87).

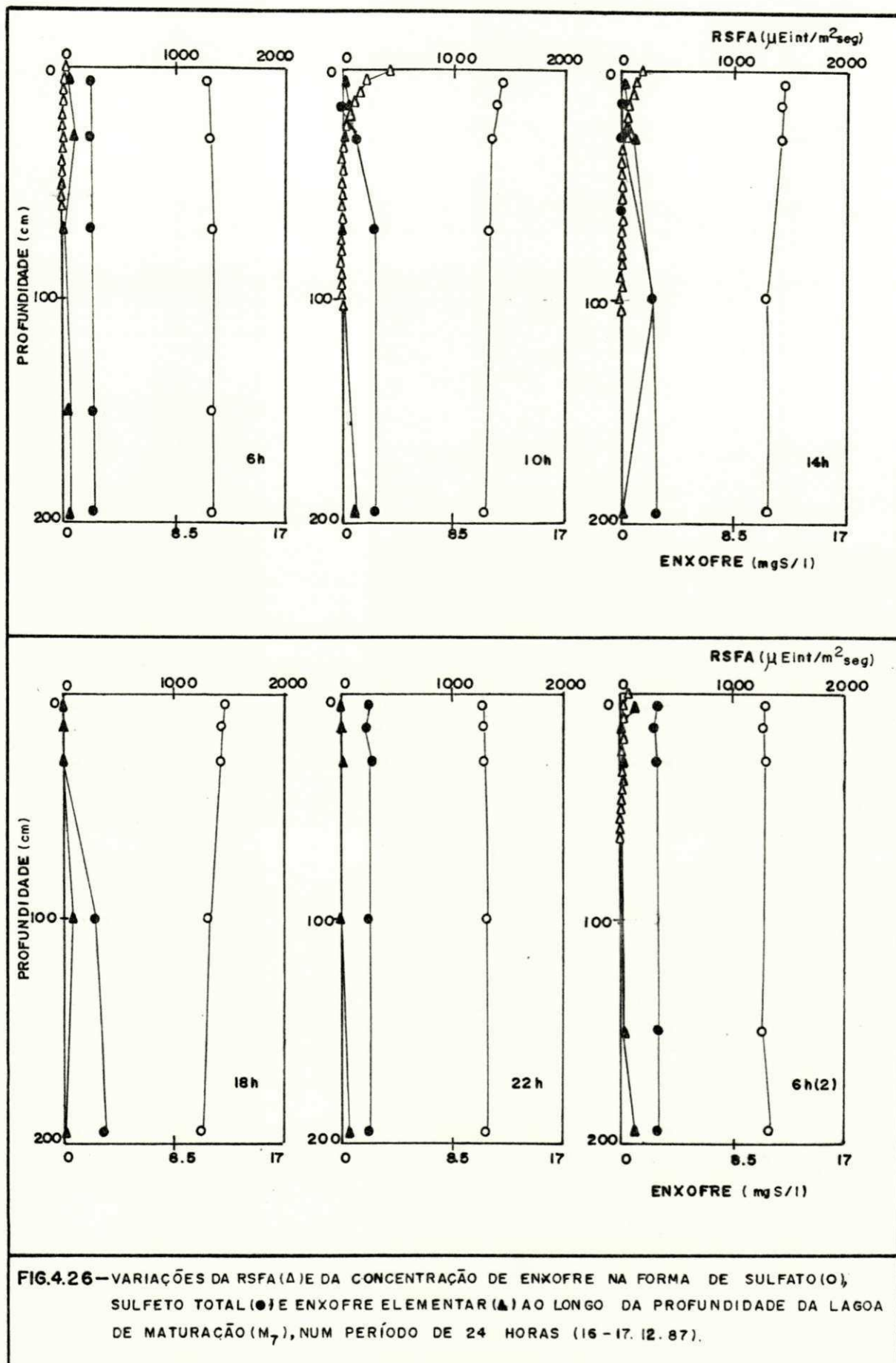


FIG.4.26—VARIACÕES DA RSFA(Δ) E DA CONCENTRAO DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO(O), SULFETO TOTAL(\bullet) E ENXOFRE ELEMENTAR(\blacktriangle) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATUREAO (M_7), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (16-17.12.87).

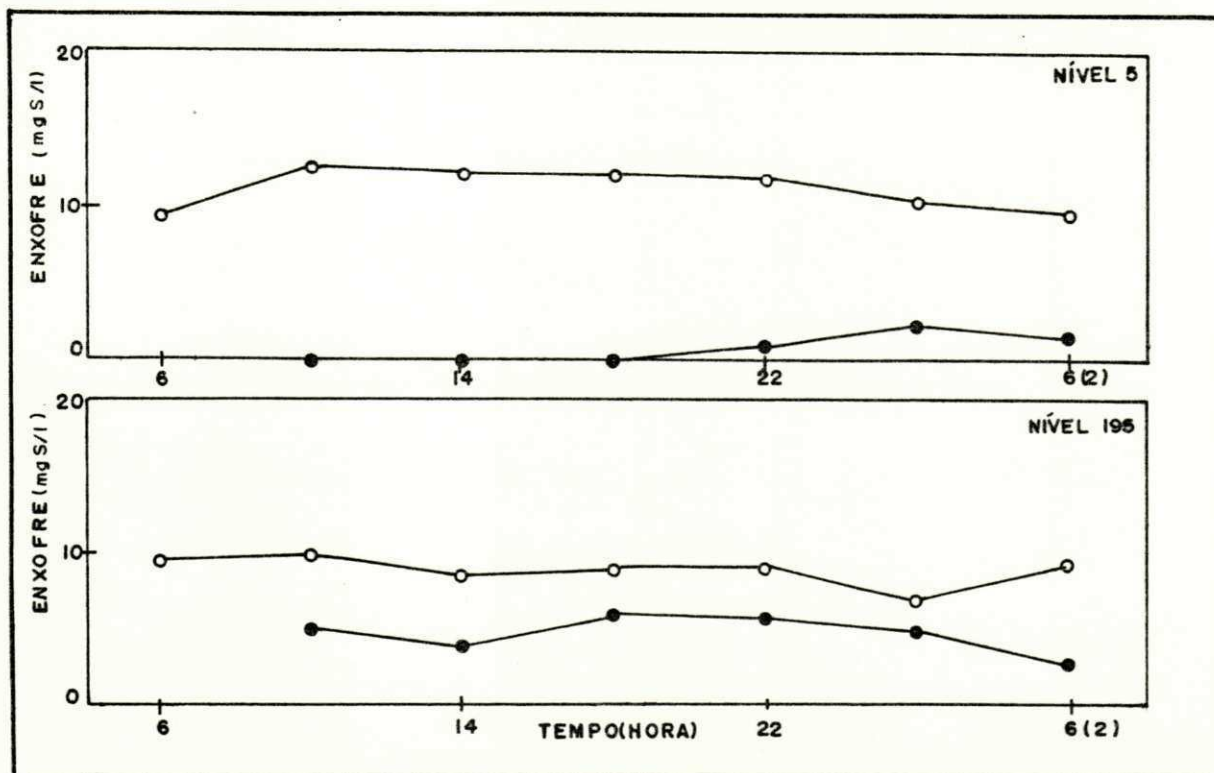


FIG.4.27 - VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATUREAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (30.09-01.10.87)
OBS.: NÃO FOI REALIZADA DETERMINAÇÃO DE SULFETO TOTAL ÀS 6 HORAS DO DIA 30.09

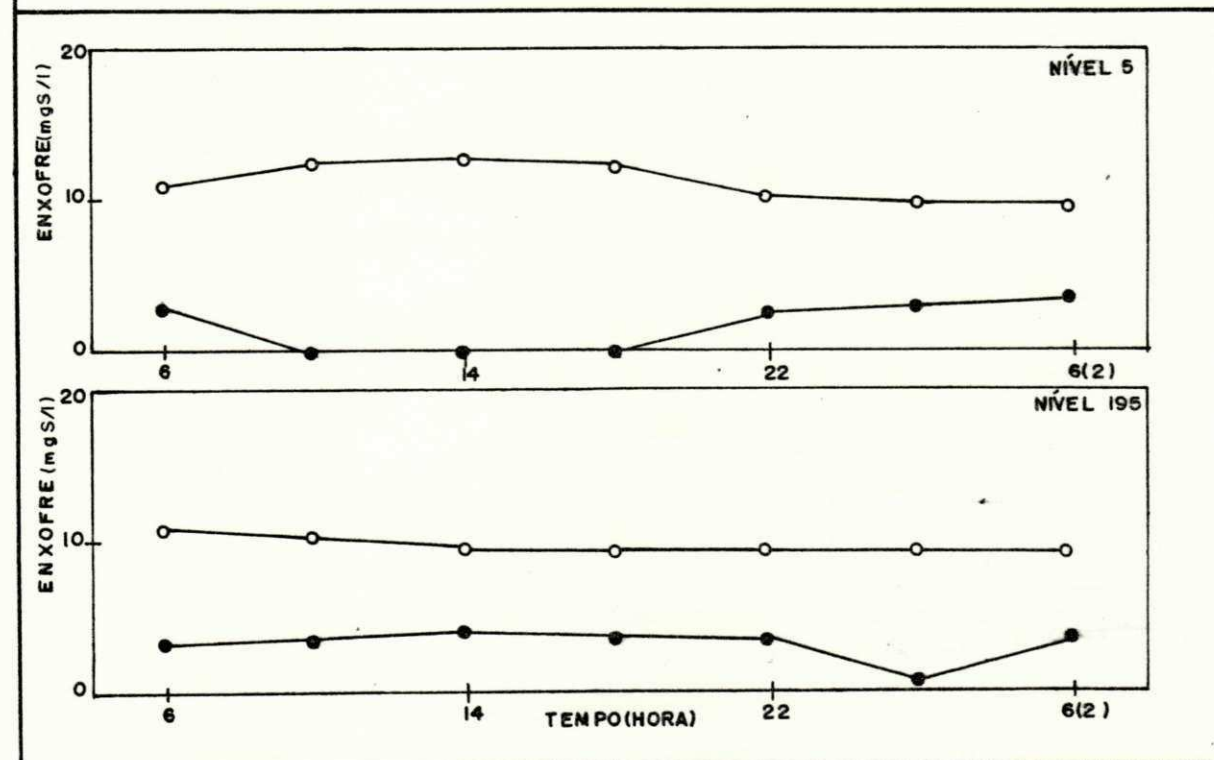


FIG.4.28 - VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATUREAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (07-08.10.87)

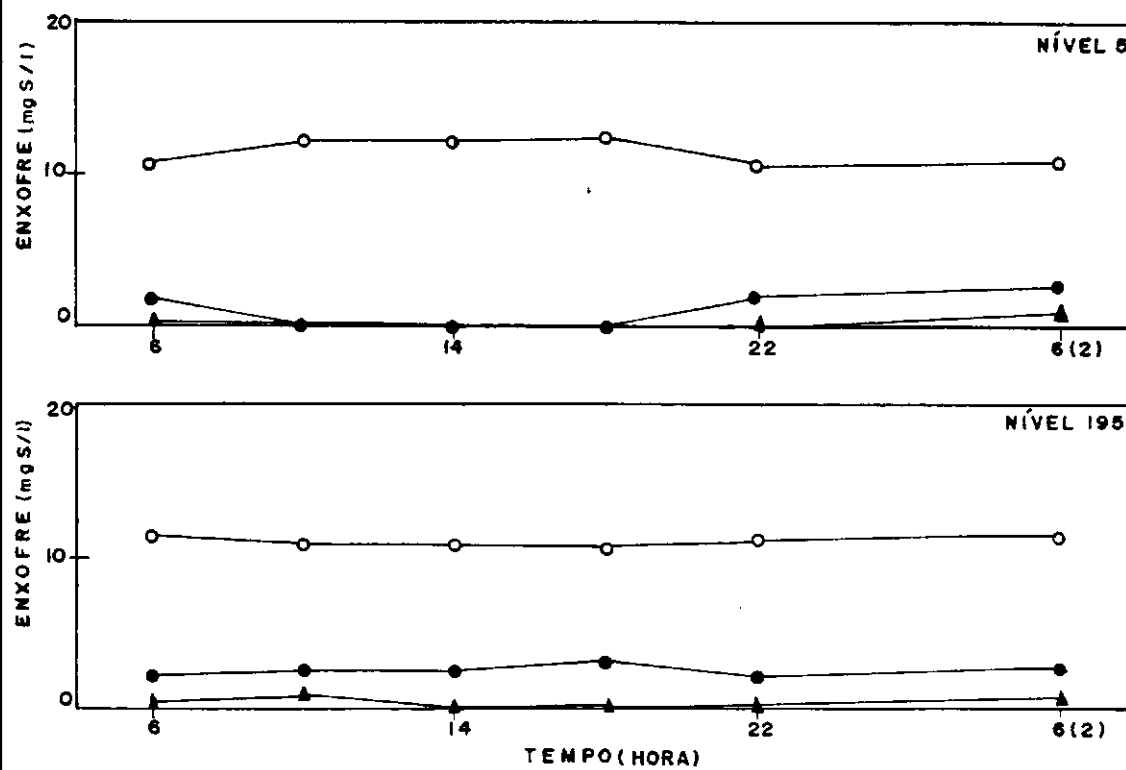
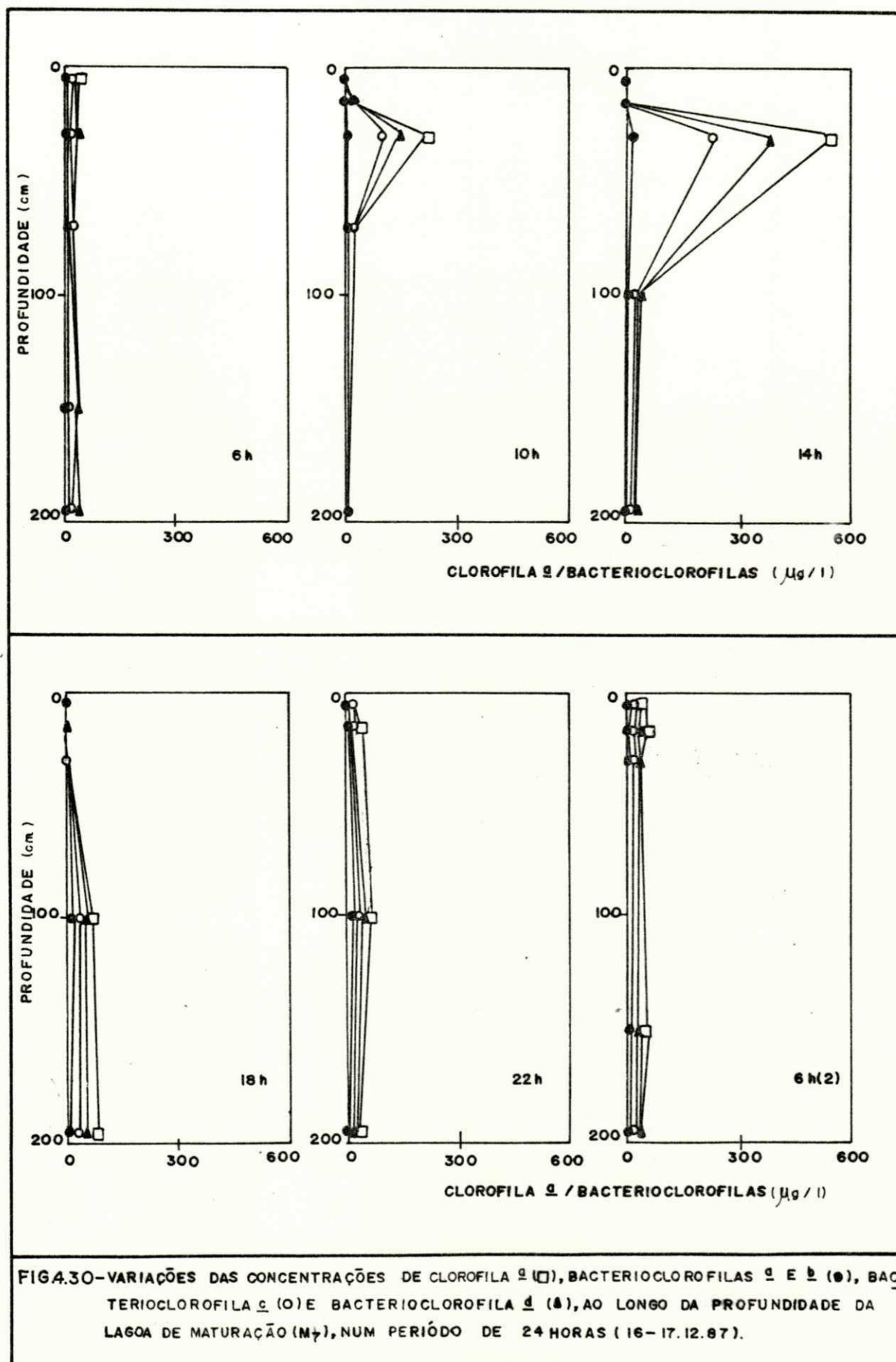


FIG.429- VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR (▲) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5 cm E 195 cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₇), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (16-17.12.87).



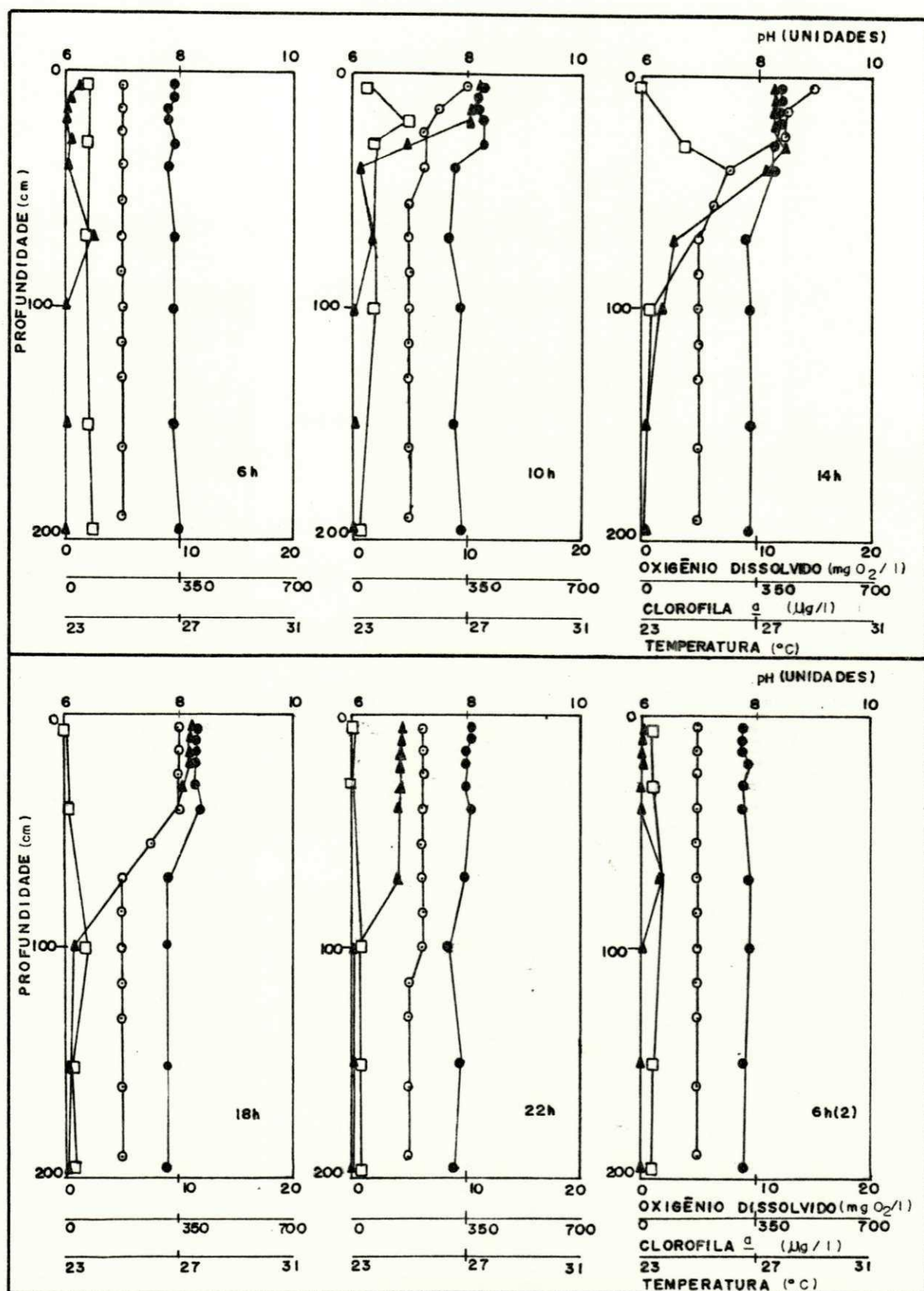


FIG.4.31- VARIAÇÕES DE pH (●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA a (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M_B), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (16-17.09.87).

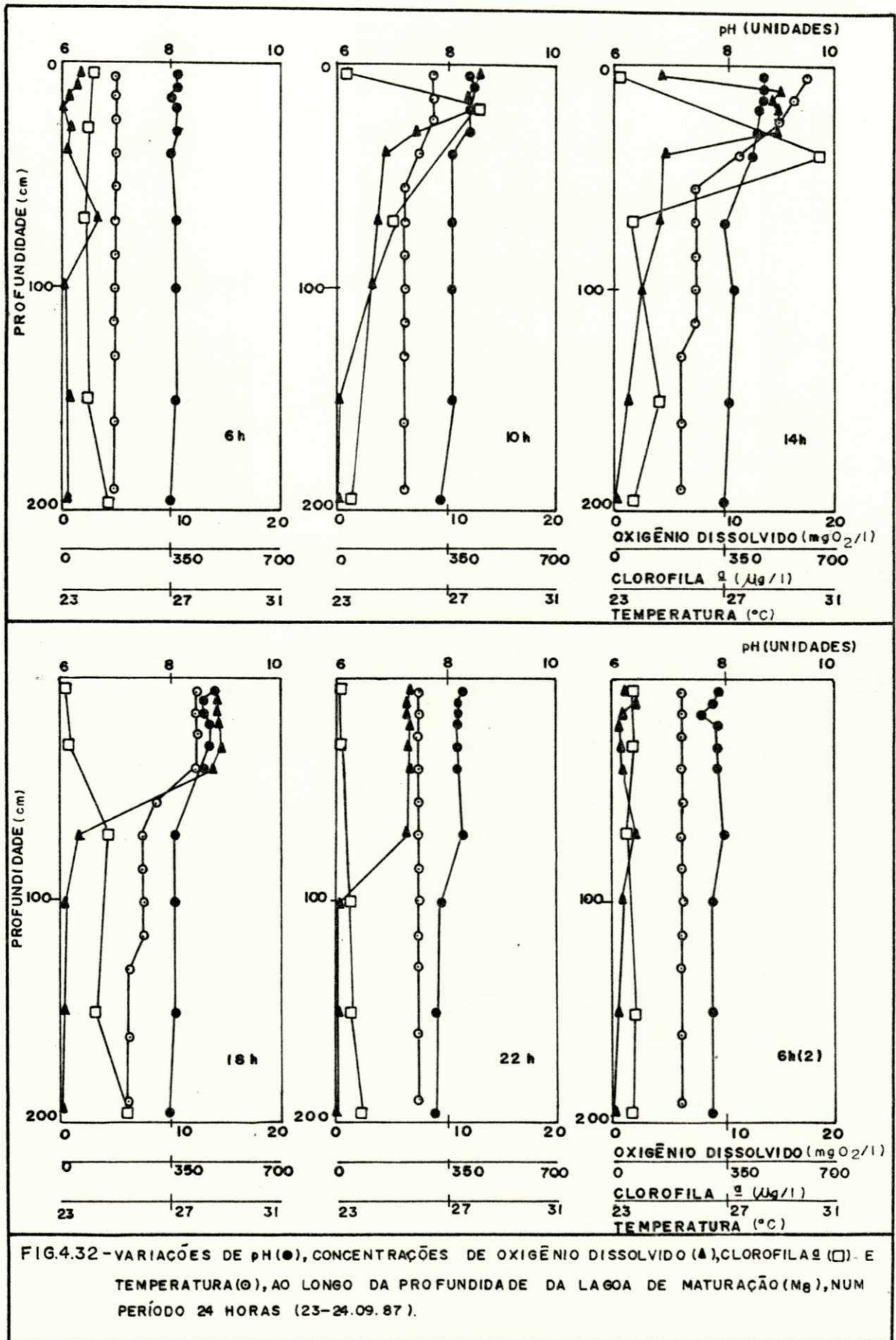


FIG.4.32 - VARIACÕES DE pH(●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA a (□) E TEMPERATURA(○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATUREZAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO 24 HORAS (23-24.09.87).

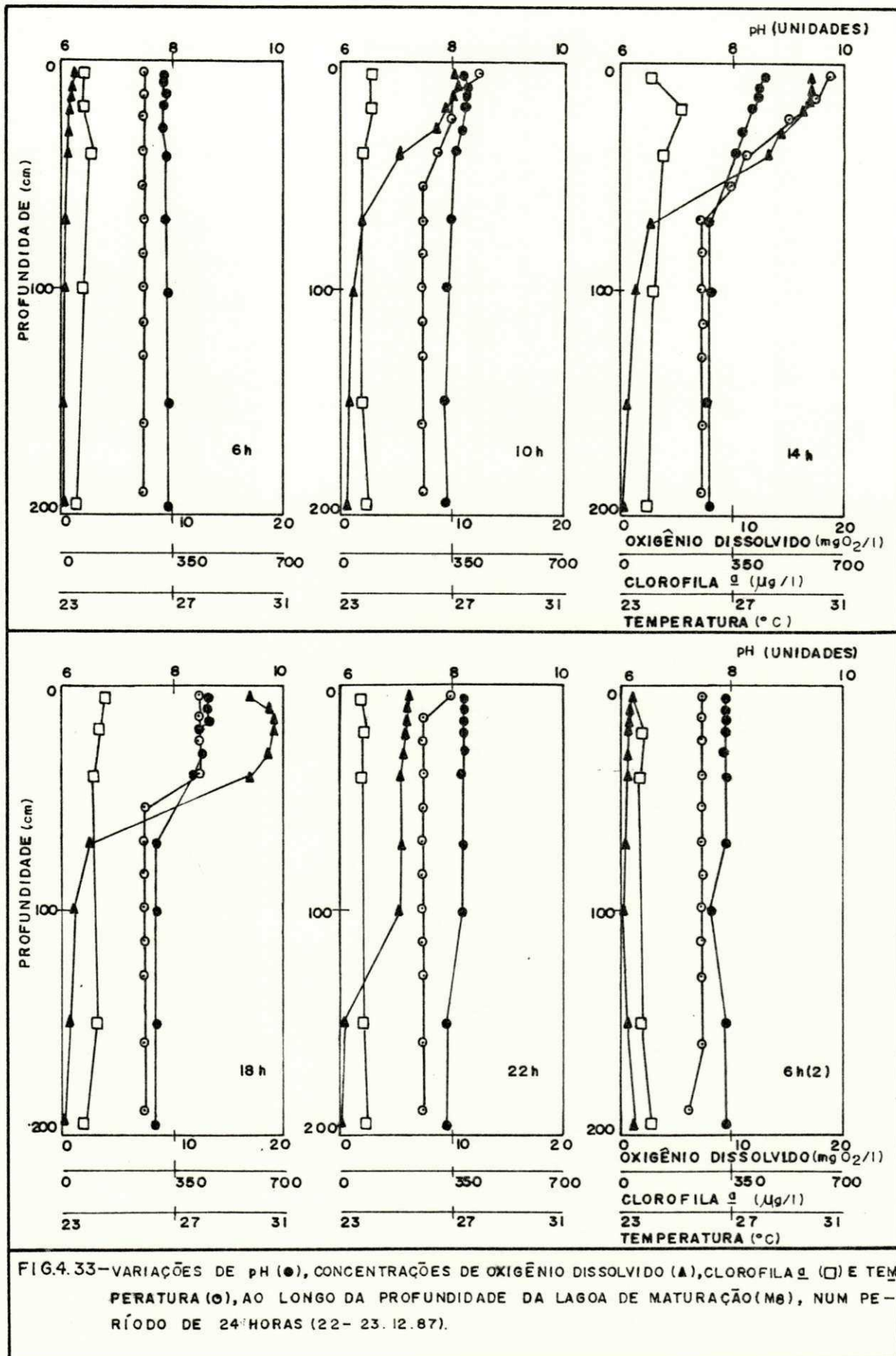


FIG.4.33-VARIAÇÕES DE pH (●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA *a* (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATUREZAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (22-23.12.87).

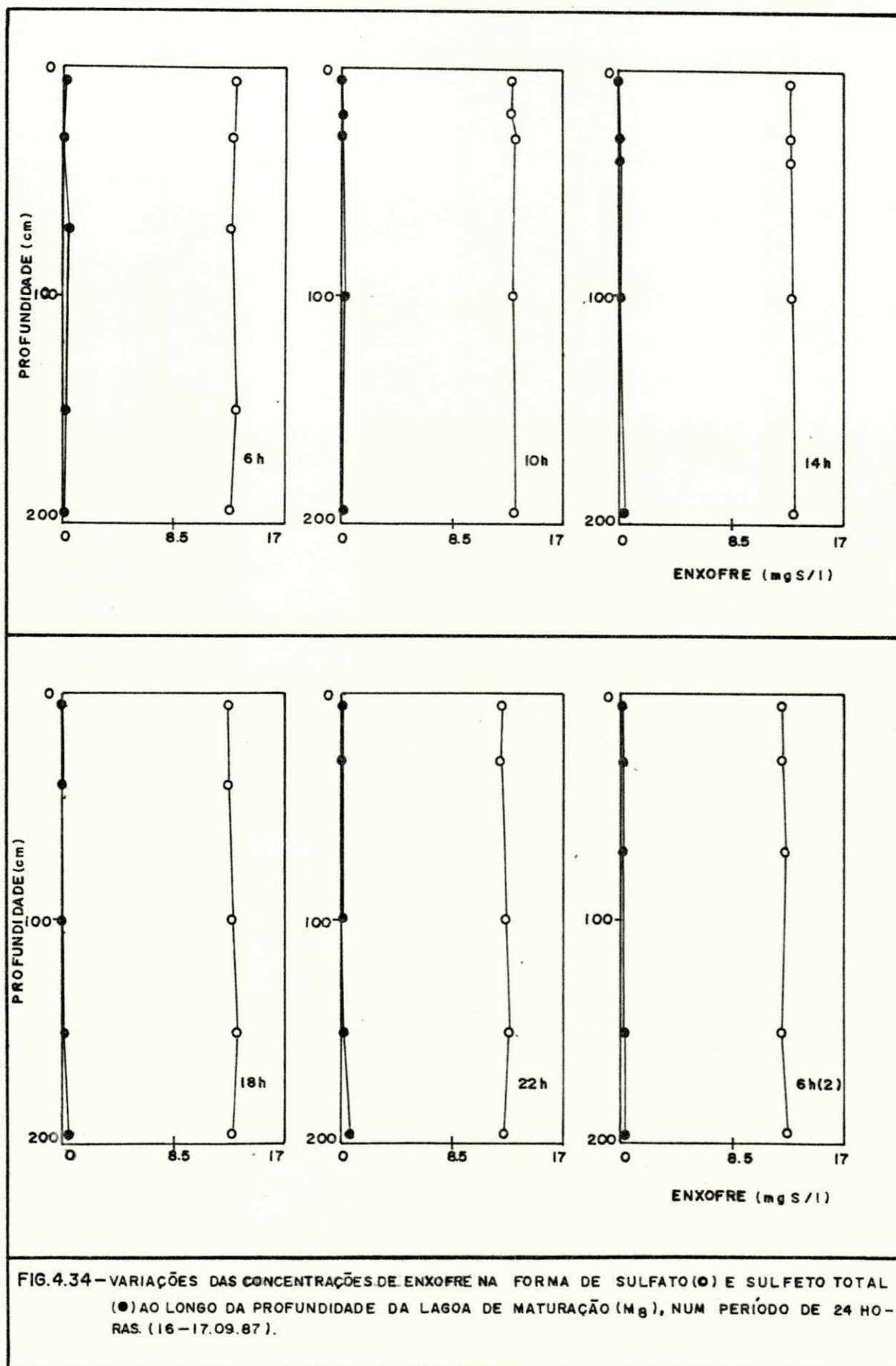


FIG. 4.34—VARIACÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (16-17.09.87).

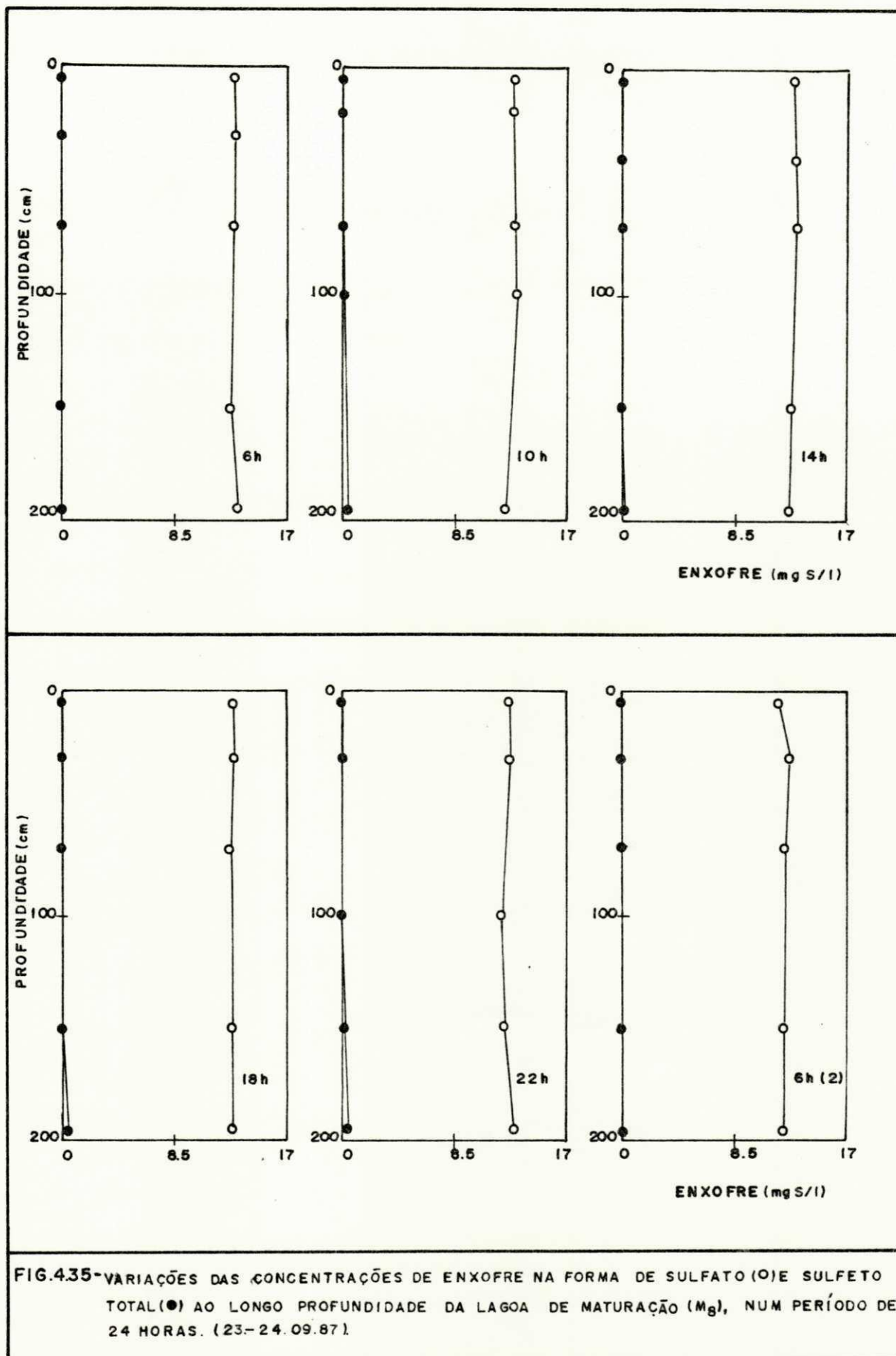


FIG.4.35-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURACÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (23-24.09.87).

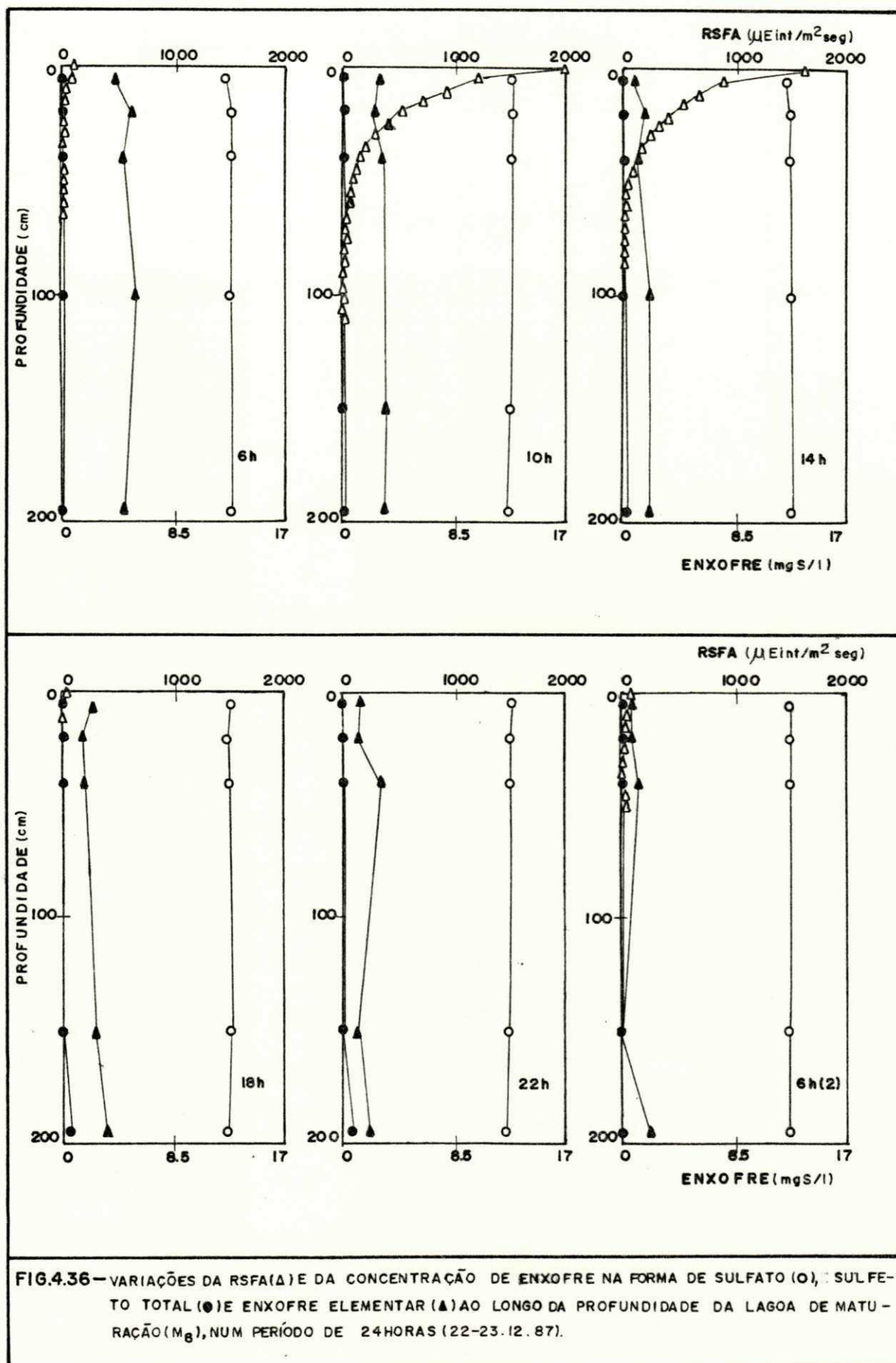


FIG.4.36—VARIÇÕES DA RSFA(Δ) E DA CONCENTRAÇÃO DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR (\blacktriangle) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (22-23.12.87).

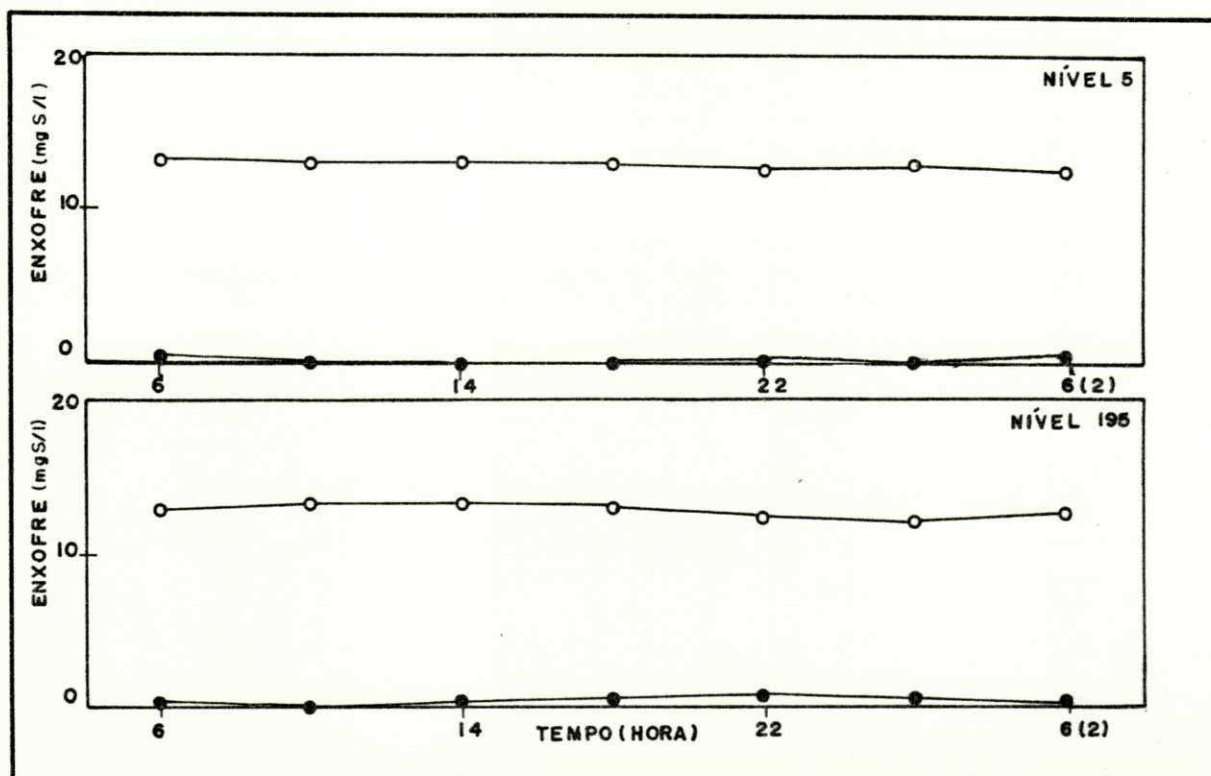


FIG.4.37-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (16-17.09.87).

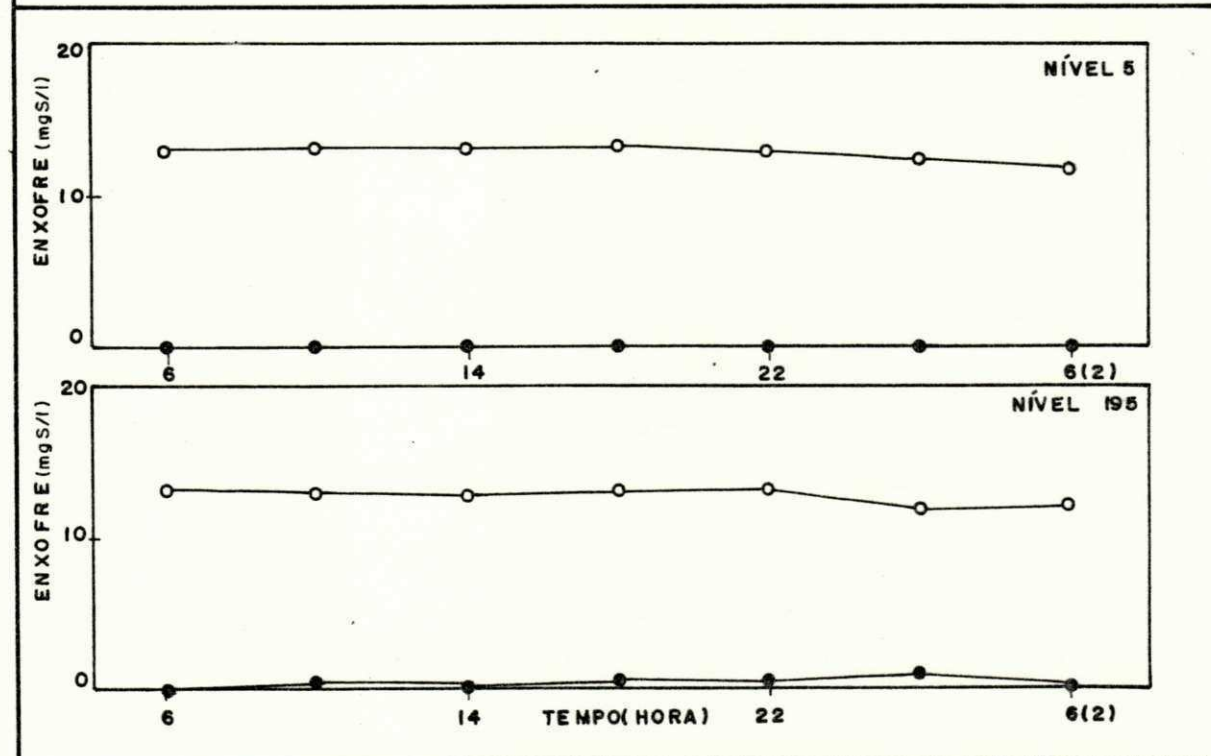


FIG.4.38-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (23-24.09.87).

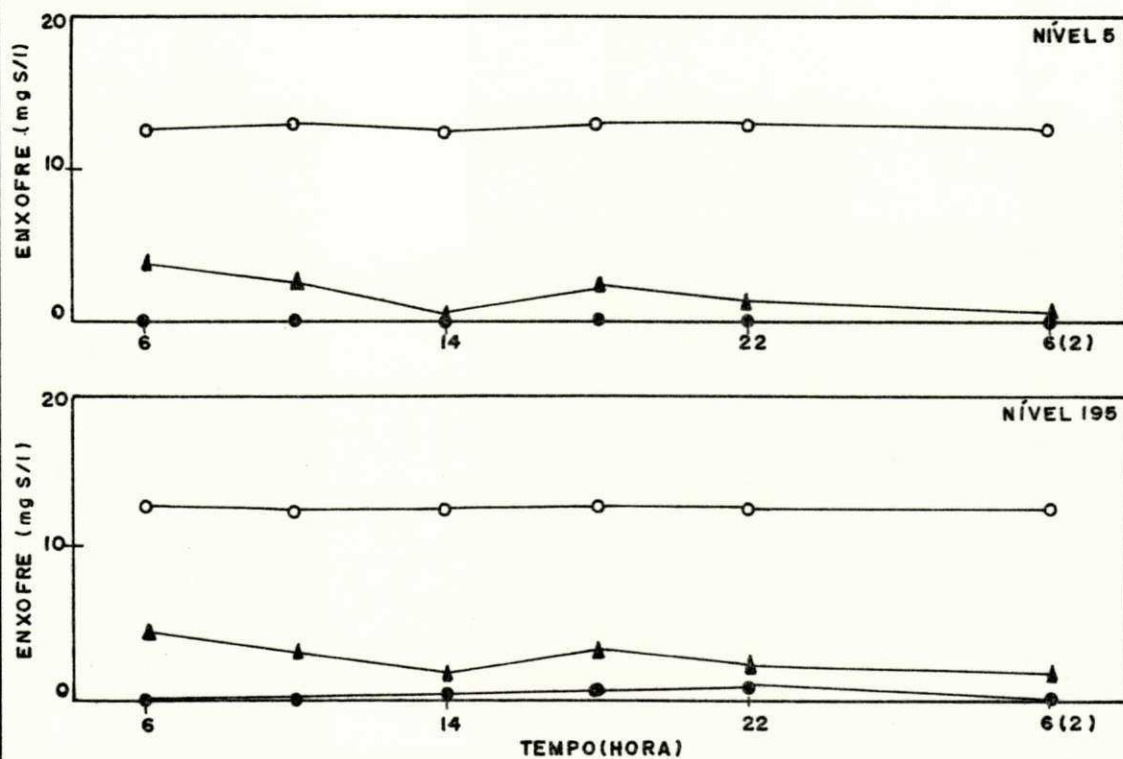
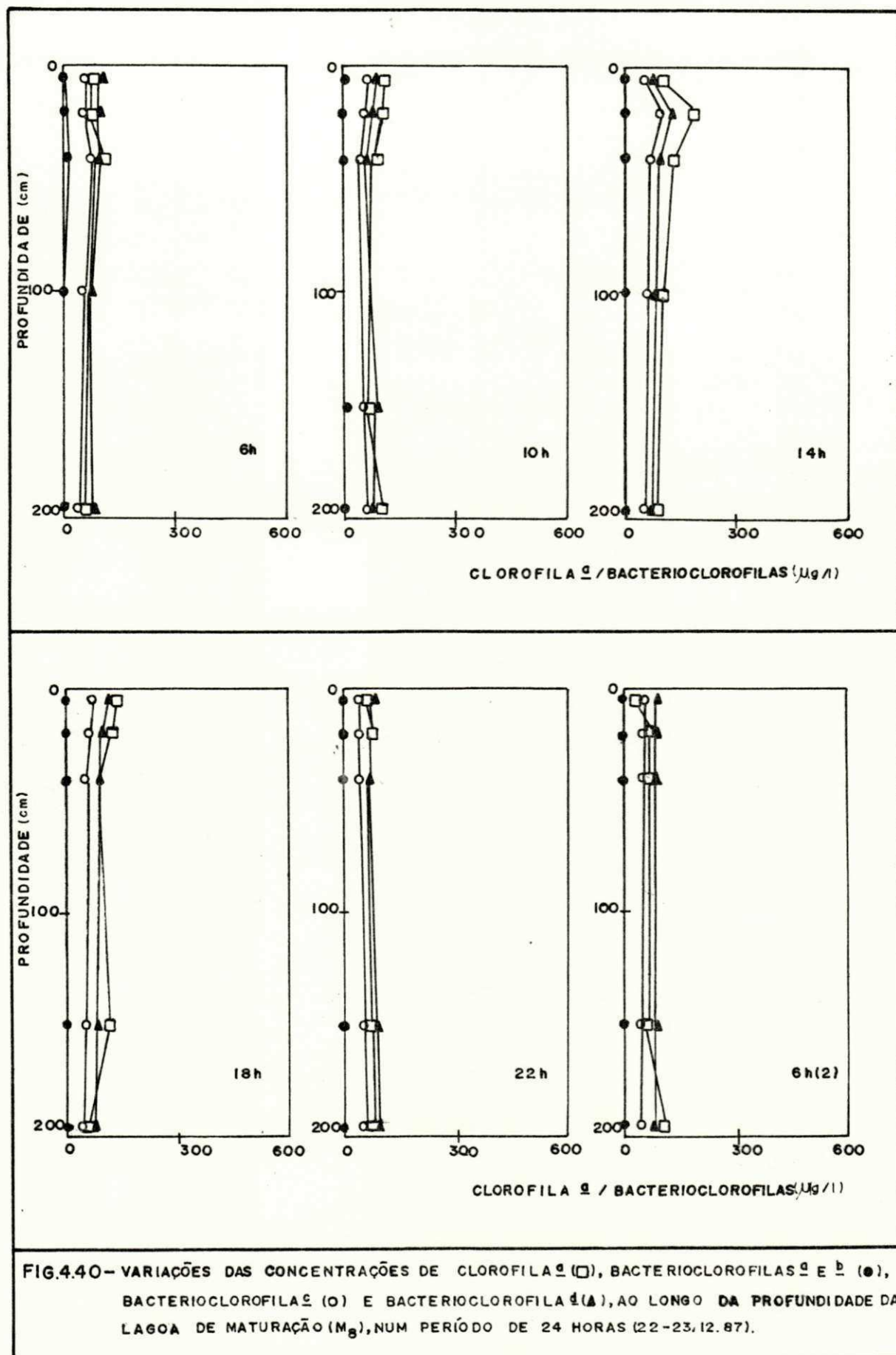
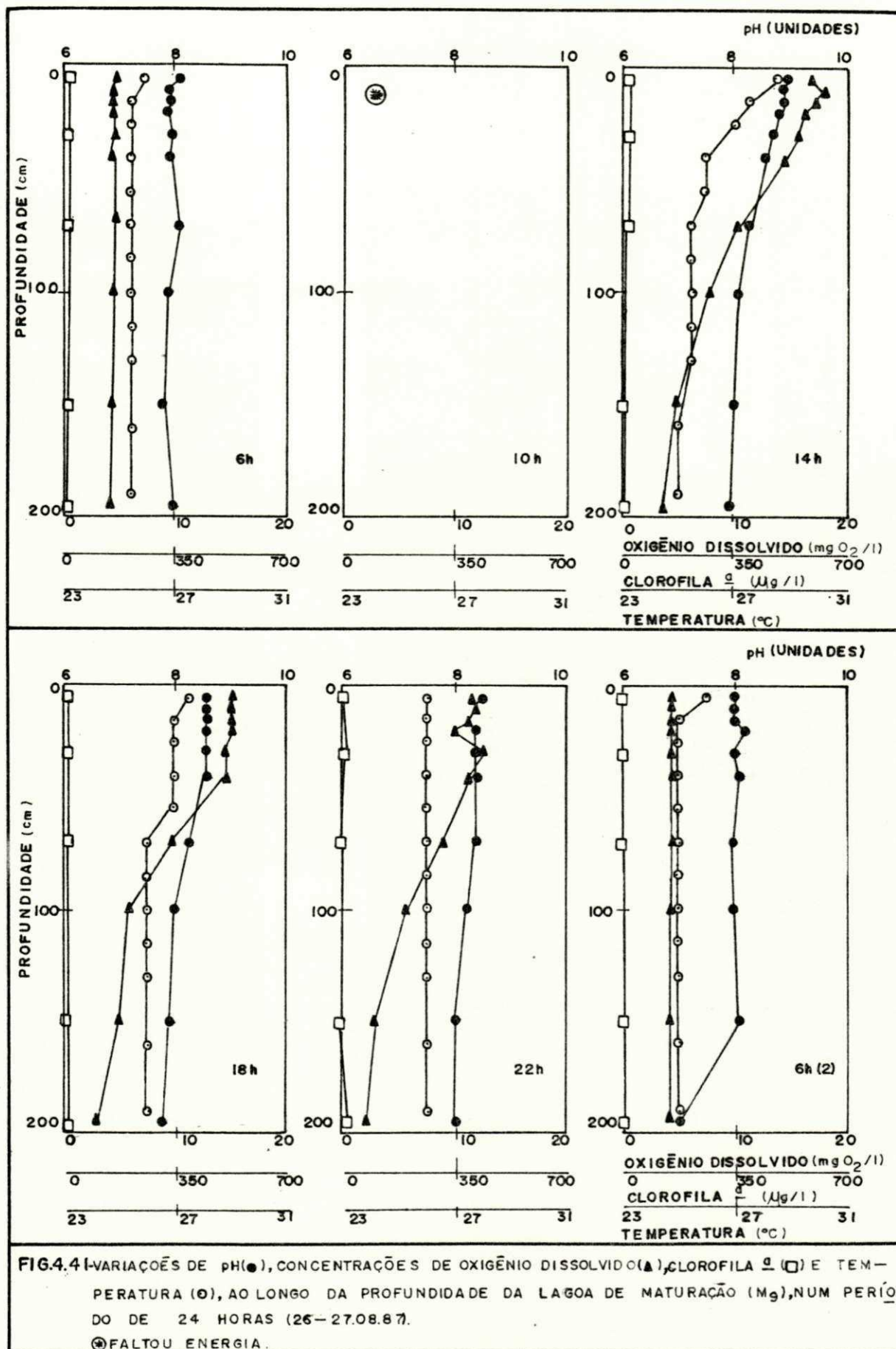
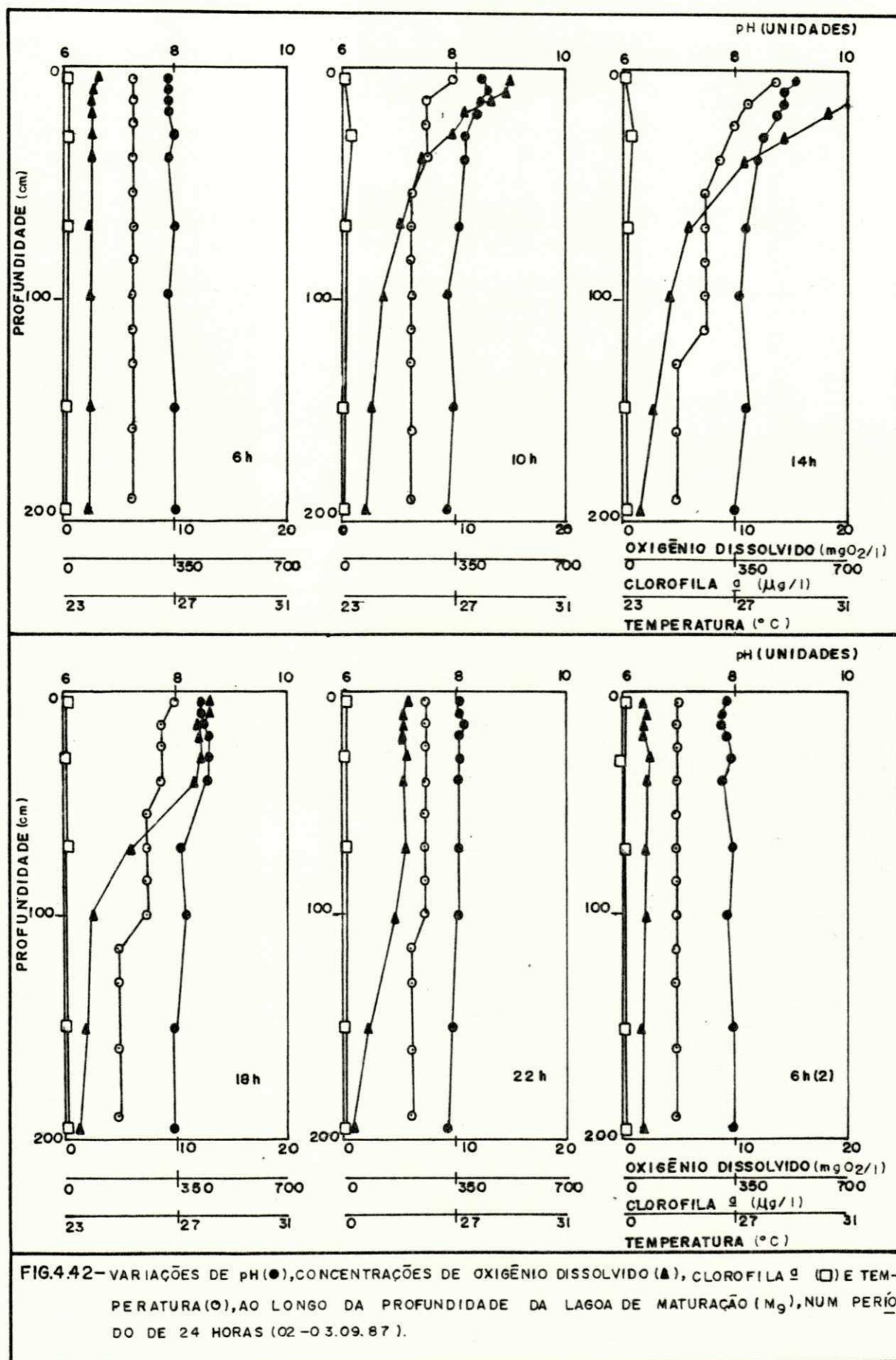


FIG.4.39-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (O), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR (▲) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₈), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (22-23.12.87).







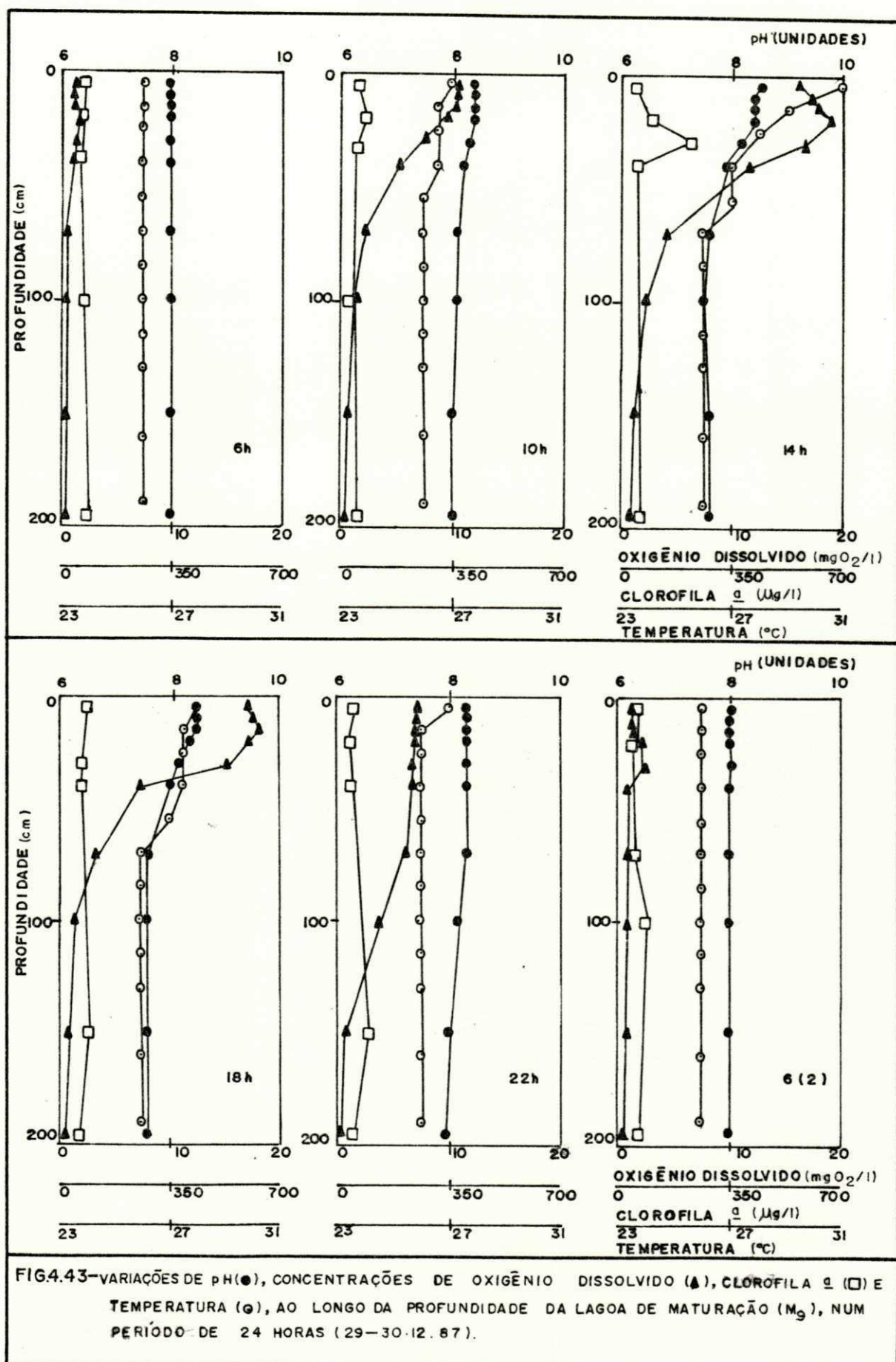
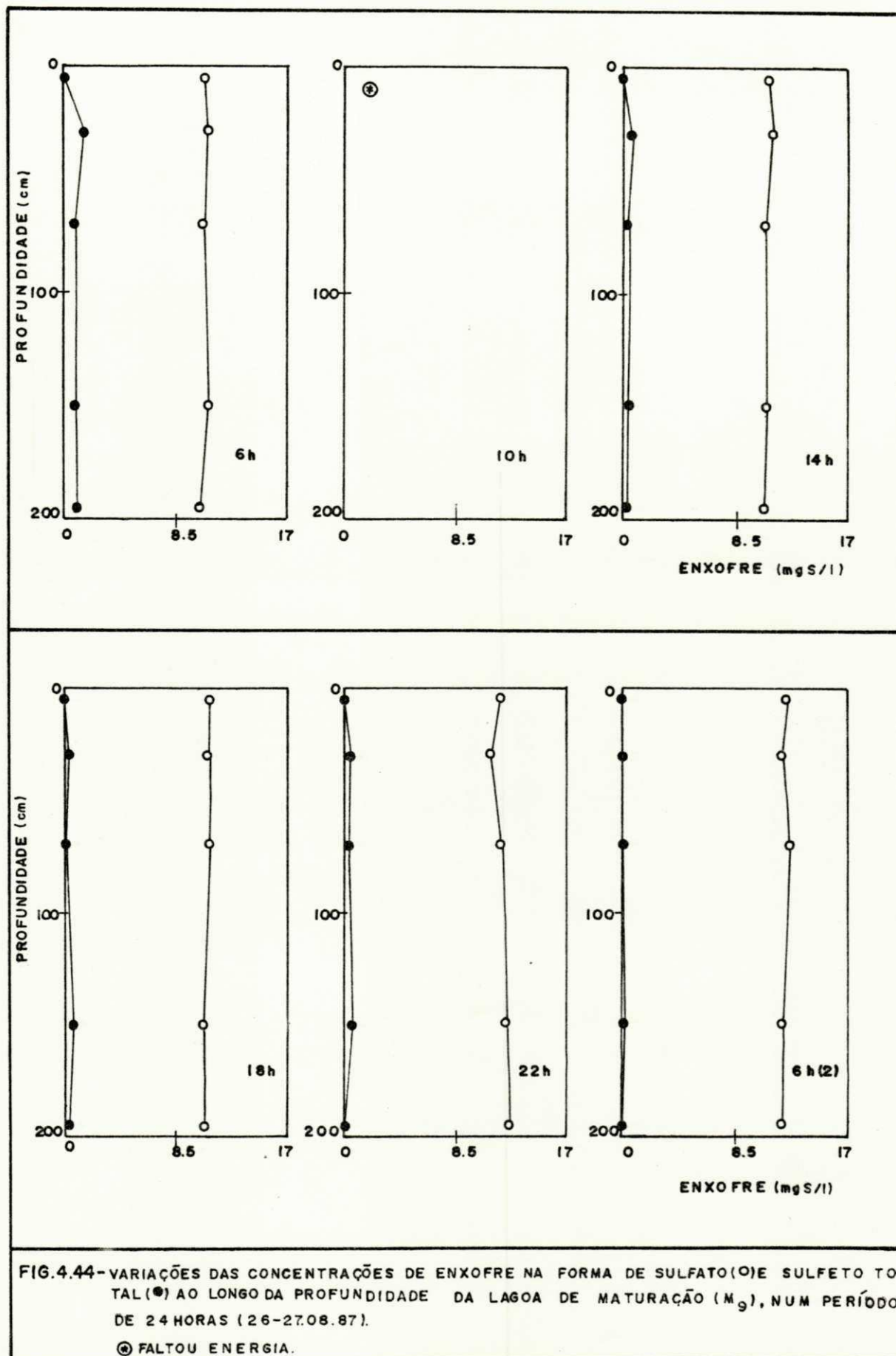


FIG.4.43-VARIAÇÕES DE pH(●), CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (▲), CLOROFILA *a* (□) E TEMPERATURA (○), AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURACÃO (M₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (29-30.12.87).



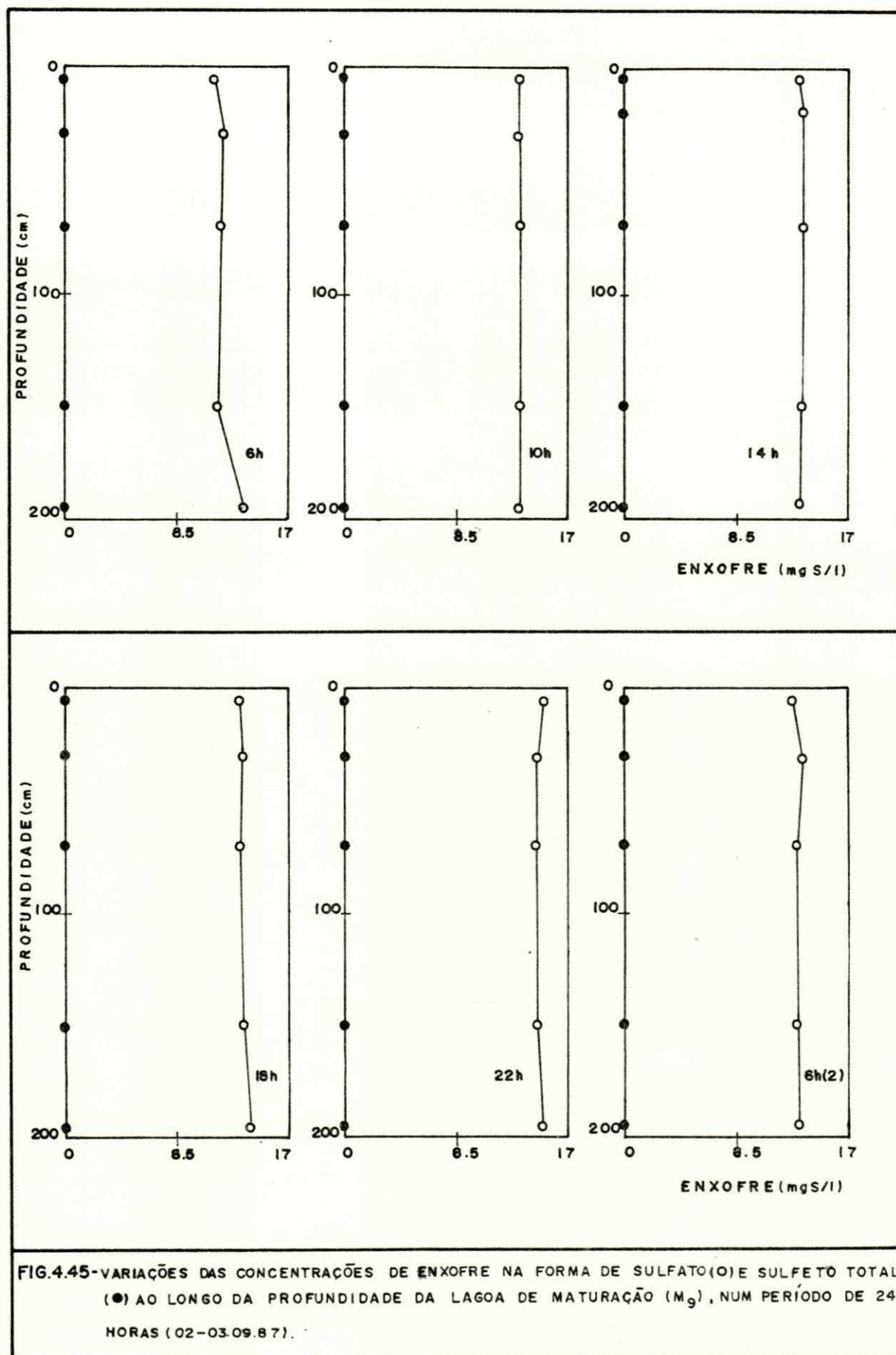


FIG.4.45-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO(O) E SULFETO TOTAL (●) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (02-03.09.87).

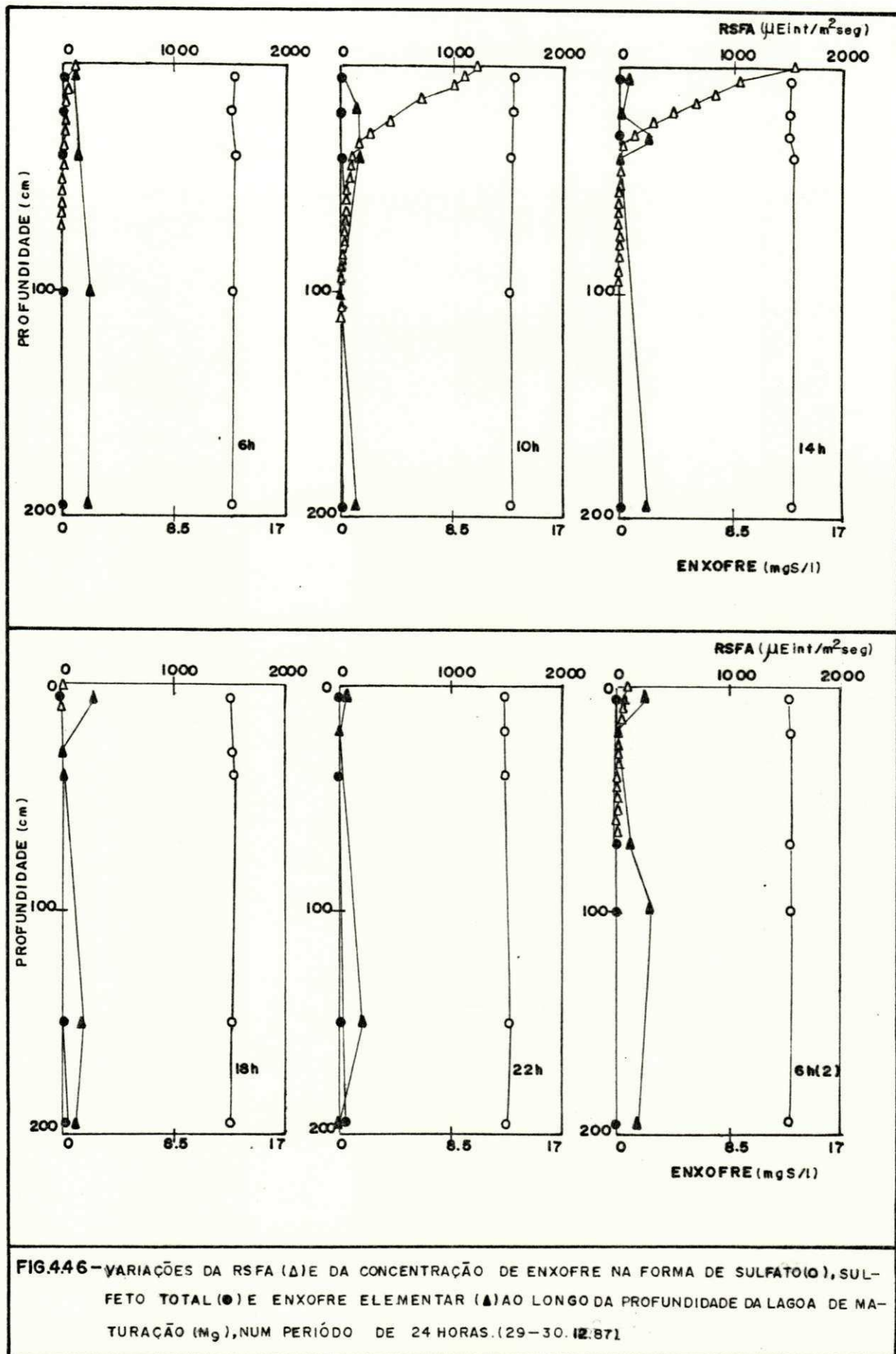


FIG.4.46 - VARIAÇÕES DA RSFA (Δ) E DA CONCENTRAÇÃO DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR (▲) AO LONGO DA PROFUNDIDADE DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (29-30.12.87)

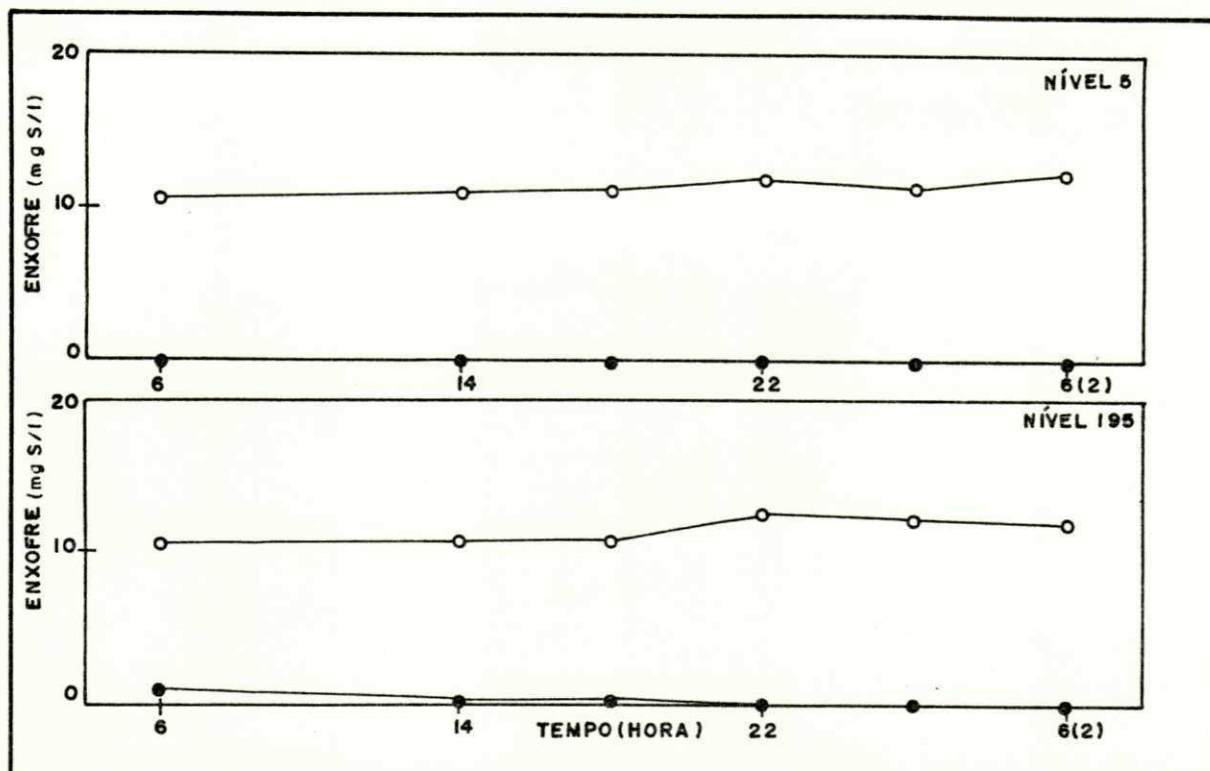


FIG.4.47-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M_g), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (26-27.08.87).
QBS.: NÃO FOI REALIZADA COLETA ÀS 10 HORAS POR FALTA DE ENERGIA ELÉTRICA.

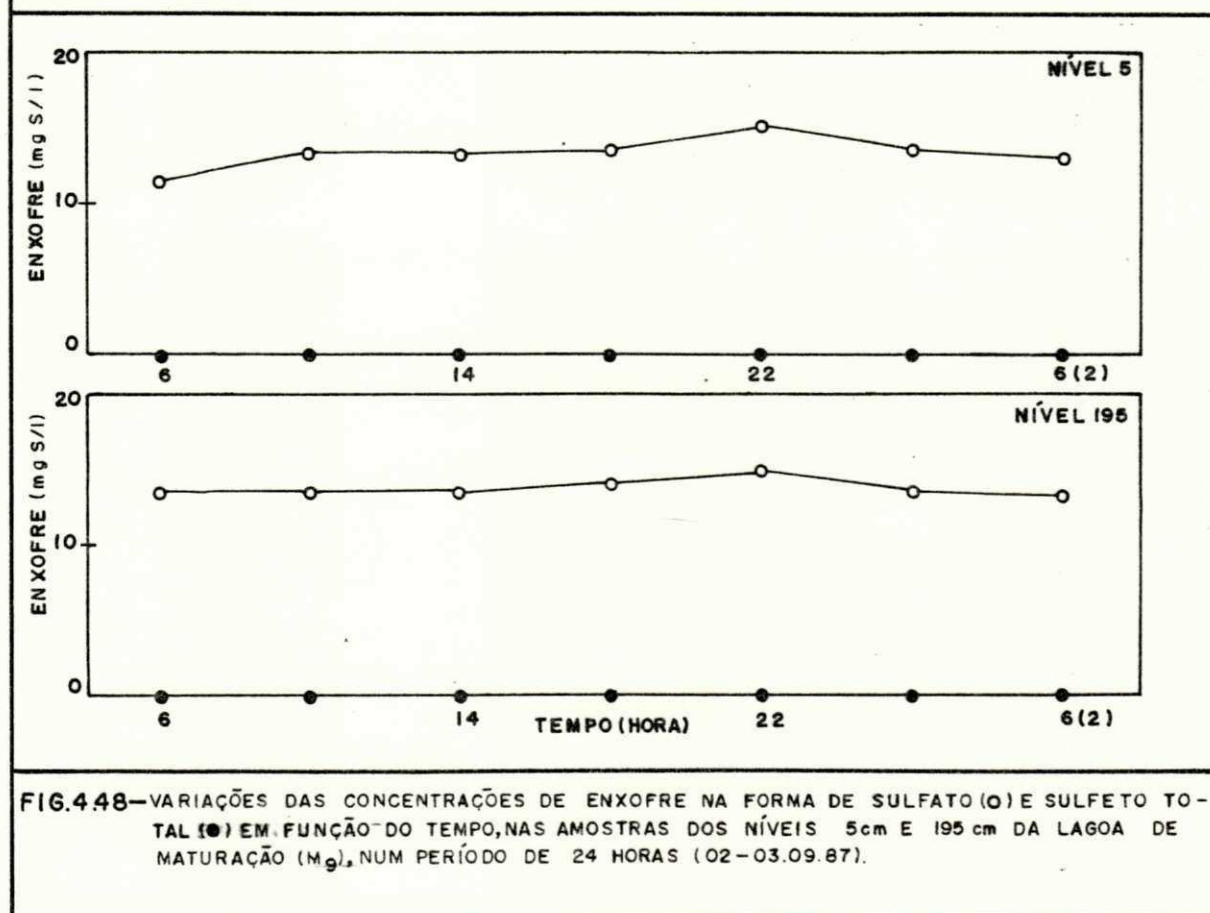


FIG.4.48-VARIAÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO (○) E SULFETO TOTAL (●) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M_g), NUM PERÍODO DE 24 HORAS (02-03.09.87).

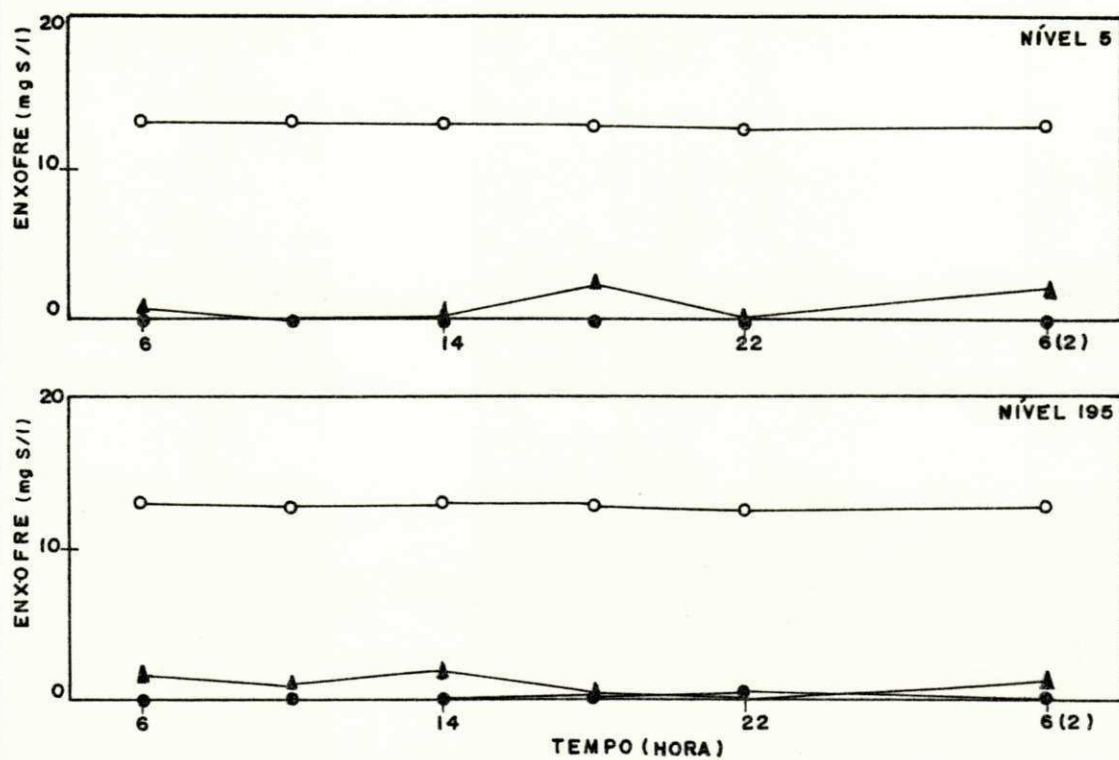


FIG.4.49—VARIÇÕES DAS CONCENTRAÇÕES DE ENXOFRE NA FORMA DE SULFATO(○), SULFETO TOTAL (●) E ENXOFRE ELEMENTAR(▲) EM FUNÇÃO DO TEMPO, NAS AMOSTRAS DOS NÍVEIS 5cm E 195cm DA LAGOA DE MATURAÇÃO (M₉), NUM PERÍODO DE 24 HORAS. (29-30. 12.87).

