



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

Contribuição ao estudo das interações entre o fitoplâncton e espécies orgânicas solúveis em lagoas de estabilização tratando águas residuárias domésticas

MARCOS LUCIANO ALVES BARROSO

CAMPINA GRANDE

2001

Contribuição ao estudo das interações entre o fitoplâncton e espécies
orgânicas solúveis em lagoas de estabilização tratando águas residuárias
domésticas

MARCOS LUCIANO ALVES BARROSO

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS INTERAÇÕES ENTRE O FITOPLÂNCTON E ESPÉCIES ORGÂNICAS SOLÚVEIS EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO TRATANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS
SUB-ÁREA : ENGENHARIA SANITÁRIA

Orientadores: Prof. Salomão Anselmo Silva – M.Eng., PhD
Prof. Rui de Oliveira – M.Eng., PhD

Campina Grande - PB
2001



B277c	<p>Barroso, Marcos Luciano Alves.</p> <p>Contribuição ao estudo das interações entre o fitoplâncton e espécies orgânicas solúveis em lagoas de estabilização tratando águas residuárias domésticas / Marcos Luciano Alves Barroso. - Campina Grande, 2001. 161 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.</p> <p>"Orientação : Prof. Dr. Salomão Anselmo Silva, Prof. Dr. Rui de Oliveira".</p> <p>Referências.</p> <p>1. Águas Residuárias Domésticas. 2. Lagoas de Estabilização. 3. Esgoto - Tratamento. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Silva, Salomão Anselmo. II. Oliveira, Rui de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título</p> <p>CDU 628.3(043)</p>
-------	--

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS INTERAÇÕES ENTRE O
FITOPLÂNCTON E ESPÉCIES ORGÂNICAS SOLÚVEIS EM LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO TRATANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS

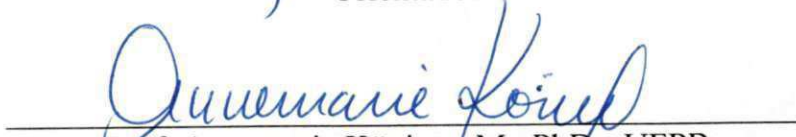
MARCOS LUCIANO ALVES BARROSO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 20 / 06 / 2001.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Salomão Anselmo Silva – M.Eng., PhD - UFPB
Orientador


Prof. Rui de Oliveira – M.Eng., PhD - UFPB
Orientador


Prof. Annemarie König – M., PhD - UFPB
Examinador Interno


Prof. Valderi Duarte Leite – M.Eng., Doutor - UEPB
Examinador Externo

Campina Grande – PB

2001

DEDICATÓRIA

A minha esposa Ilma
e minha filha Nicolle.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Salomão Anselmo Silva e Rui de Oliveira por ter possibilitado condições para o desenvolvimento, pela orientação, dedicação e incentivo na execução deste trabalho.

Às professoras Annemarie König e Beatriz S. O. Ceballos pelo incentivo.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo.

Aos funcionários e técnicos da EXTRABES e AESA, Ilma, Marconi, Wanderley, Lenimar, Savana, Risalva e Cristina pelo indispensável auxílio prestado nas atividades de laboratório e apoio geral. Também a João Batista, Sr. Francisco e Nailson.

À CAPES pelo suporte financeiro.

À Direção Geral da Escola Técnica Federal de Sergipe.

Aos colegas conquistados ao longo do mestrado.

Aos órgãos convenientes da EXTRABES:

- Universidade Federal da Paraíba – UFPB;
- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA;
- Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica do Banco do Brasil;
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNPq.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal contribuir com o estudo sobre a variação e as interações, no ciclo diário, de concentrações de produtos solúveis e sua relação com a biomassa de algas em lagoas de estabilização, em escala-piloto, tratando águas residuárias domésticas do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande (7° 13' 11" S, 35° 52' 31" O, 550 m acima do nível do mar), estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil. Para realizar este estudo foram aplicadas a análise de variância (one-way ANOVA) e matrizes de correlação, aos dados do desempenho operacional de dois sistemas experimentais (1 e 2), localizados na EXTRABES-UFPB (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários da Universidade Federal da Paraíba). O sistema experimental 1 constituído por uma lagoa facultativa primária (F29) profunda (2,3 m), provida de chicanas longitudinais do tipo vai-e-vem, foi operado entre 17/03 e 27/10/2000 sob uma carga orgânica superficial média de 330 kgDBO₅/ha.dia e um tempo de detenção hidráulica de 15 dias sendo a sua monitoração baseada na análise de amostras coletadas, de manhã e à tarde, de dois níveis (superfície e fundo) de três pontos representativos de diferentes regiões da massa líquida da lagoa. O sistema experimental 2, era uma série de lagoas (2,2 m) composta de uma anaeróbia (A1), seguida de uma facultativa secundária (F1) e três de maturação (M1, M2 e M3), operada, entre 18/04 e 27/10/2000, com um tempo de detenção hidráulica total de 30 dias, sendo a carga volumétrica aplicada à lagoa anaeróbia estimada em um pouco menos de 40 gDBO₅/m³.dia. A monitoração deste sistema foi baseada na análise de amostras de efluentes, coletadas às 6 h 30 min e 13 h 30 min. As variáveis analisadas em ambos os sistemas experimentais foram temperatura, oxigênio dissolvido, pH, clorofila *a*, identificação e contagem de algas, em amostras brutas, glicose, em amostras filtradas e DBO₅ e DQO, em amostras brutas e filtradas. A conclusão mais destacada deste trabalho foi que as principais modificações da massa líquida, especialmente com relação às espécies orgânicas solúveis foram relacionadas à atividade do fitoplâncton. Correlações significativas foram demonstradas entre clorofila *a* e glicose (relação predominantemente positiva) e entre clorofila *a* e DBO₅ e DQO filtradas (relação predominantemente negativa).

ABSTRACT

The aim of this work was to study both diurnal variation and interactions between soluble organic concentrations and phytoplanktonic biomass in terms of chlorophyll *a* concentrations in waste stabilization pond systems treating wastewater from Campina Grande city (7° 13' 11" S, 35° 52' 31" W, 550 m above mean sea level) municipal sewerage, Paraíba state, northeast Brazil. Both, one way-ANOVA and correlation analysis were applied to data obtained from two (1 and 2) pilot-scale experimental systems, operated at EXTRABES-UFPB (Federal University of Paraíba's Experimental Station for the Biological Treatment of Sewage), between March and October 2000. The experimental system 1 was a baffled (a longitudinal round-the-corner baffle), deep (2.3 m deep), primary facultative pond with surface organic loading of 330 kgBOD₅/ha.day and a hydraulic retention time of 15 days, and system 2 was a pond series (2.2 m deep) comprising an anaerobic, followed by a facultative and three maturation ponds with a total hydraulic retention time of 30 days being the anaerobic loaded with nearly 40 gBOD₅/m³.day. Temperature, dissolved oxygen, pH, chlorophyll *a*, identification and counting of phytoplanktonic cells (raw samples), glucose (filtered samples) and BOD₅ and COD (both raw and filtered samples) were analysed in samples collected, at 6 h 30 min a.m. and 1 h 30 min p.m., from the outlet pipes of ponds in series and from two levels (surface and bottom layers) of the primary facultative water mass. The main modifications in the water quality of both systems, particularly with respect to soluble organics were due to phytoplankton activity and significant correlation coefficients were determined between chlorophyll *a* and glucose (predominantly positive) and between chlorophyll *a* and both filtered BOD₅ and COD (predominantly negative).

Lista de tabelas

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Gêneros de algas presentes em lagoas de estabilização nos trópicos.....	26
--	----

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Características físicas da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.	39
--	----

Tabela 3.2 - Características físicas dos canais da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	39
--	----

Tabela 3.3 - Características físicas das chicanas da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	39
--	----

Tabela 3.4 - Características físicas dos canais longitudinais das lagoas F1 e M2 do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	42
--	----

Tabela 3.5 - Características físicas das chicanas das lagoas F1 e M2 do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	42
--	----

Tabela 3.6 – Características operacionais da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	43
--	----

Tabela 3.7 – Características operacionais da série das 5 lagoas do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....	48
---	----

Capítulo 4

- Tabela 4.1 – Parâmetros estatísticos descritivos para os dados de contagem dos gêneros de algas do fitoplânctico, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, no período de 17/03 a 27/10/2000. As concentrações são expressas na forma $C \times 10^2$ UPC/ml.....67
- Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....70
- Tabela 4.3 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....71
- Tabela 4.4 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....73
- Tabela 4.5 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....73
- Tabela 4.6 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....74
- Tabela 4.7 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....75
- Tabela 4.8 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....76
- Tabela 4.9 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....77

Tabela 4.10 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	78
Tabela 4.11 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	79
Tabela 4.12 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Filtrada)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	80
Tabela 4.13 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Filtrada)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	80
Tabela 4.14 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	81
Tabela 4.15 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	81
Tabela 4.16 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	82
Tabela 4.17 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	83
Tabela 4.18 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	84
Tabela 4.19 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	84

Tabela 4.20 - Estatística F e Fc para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental I, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios da massa líquida da lagoa F29 ($\alpha = 0,05$).....	87
Tabela 4.21 - Estatística F e Fc para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental I, considerando os dois turnos, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios da massa líquida da lagoa F29 ($\alpha = 0,05$).....	88
Tabela 4.22 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Manhã).....	96
Tabela 4.23 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Tarde).....	96
Tabela 4.24 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Manhã e Tarde).....	97
Tabela 4.25 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Manhã e Tarde).....	97
Tabela 4.26 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 200 cm (Manhã e Tarde).....	98
Tabela 4.27 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Manhã).....	98
Tabela 4.28 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Tarde).....	99

Tabela 4.29 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Manhã).....	99
Tabela 4.30 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Tarde).....	100
Tabela 4.31 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Manhã e Tarde).....	100
Tabela 4.32 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29, a 5 cm (Manhã e Tarde).....	101
Tabela 4.33 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29, a 200 cm (Tarde).....	101

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Parâmetros estatísticos descritivos para os dados de contagem dos gêneros de algas do fitoplânctico, com amostras coletadas nos efluentes na série de 5 (cinco) lagoas, no período de 18/04 a 27/10/2000. As concentrações são expressas na forma $C \times 10^2$ UPC/ml.....	109
Tabela 5.2 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila a ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....	113
Tabela 5.3 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila a ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....	113

- Tabela 5.4 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura (°C) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....114
- Tabela 5.5 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura (°C) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....114
- Tabela 5.6 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....115
- Tabela 5.7 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....116
- Tabela 5.8 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....117
- Tabela 5.9 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....117
- Tabela 5.10 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....118
- Tabela 5.11 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 6 h 30 min.....119
- Tabela 5.12 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....120

- Tabela 5.13 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....121
- Tabela 5.14 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....122
- Tabela 5.15 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....122
- Tabela 5.16 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....123
- Tabela 5.17 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....124
- Tabela 5.18 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.....125
- Tabela 5.19 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, de 18/04 a 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.....125
- Tabela 5.20 - Estatística F e F_c para os dados amostrais determinados no sistema experimental 2, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios dos efluentes das cinco lagoas ($\alpha = 0,05$)...128
- Tabela 5.21 - Estatística F e F_c para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental 2, considerando os dois turnos, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios dos efluentes das cinco lagoas ($\alpha = 0,05$).....129

Tabela 5.22 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Manhã).	137
Tabela 5.23 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Tarde).	137
Tabela 5.24 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Manhã e Tarde).	138
Tabela 5.25 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Manhã).	138
Tabela 5.26 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Tarde).	139
Tabela 5.27 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Manhã e Tarde).	139

Lista de figuras

Capítulo 2

- Figura 2.1 - Processo de oxidação aeróbia8
- Figura 2.2 - Processo de digestão anaeróbia.....11
- Figura 2.3 - Tipos de chicanas.....20
- Figura 2.4 - As diferentes interações entre substâncias dissolvidas e os principais compartimentos do sistema planctônico (Moss, 1986).....37

Capítulo 3

- Figura 3.1 - Desenho esquemático do sistema experimental 1 (F29), investigada neste trabalho, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....40
- Figura 3.2 - Desenho esquemático do sistema experimental 2 (série), investigado neste trabalho, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....41
- Figura 3.3 - Planta de situação dos sistemas experimentais em escala-piloto, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....44
- Figura 3.4 - Detalhe do tanque de nível constante (TNC), localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.....45
- Figura 3.5 - Planta baixa da casa de bombas localizada na EXTRABES – Campina Grande - PB.....46
- Figura 3.6 - Detalhe do dispositivo de intercomunicação entre lagoas e do retentor de espuma.....47

Figura 3.7 - Demarcação dos pontos (1, 3 e 5) de coleta na lagoa facultativa primária F29, localizada na EXTRABES – Campina Grande - PB.....50

Capítulo 4

Figura 4.1 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 02/06/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.....57

Figura 4.2 - Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 02/06/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde 13 h 30 min.....58

Figura 4.3 - Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 23/08 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.....59

Figura 4.4 - Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 23/08 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde às 13 h 30 min.....60

Figura 4.5 - Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.....61

Figura 4.6 - Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde às 13 h 30 min.....	62
Figura 4.7 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de temperatura na lagoa F29 (turno tarde).....	89
Figura 4.8 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na lagoa F29 (turno tarde).....	89
Figura 4.9 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na lagoa F29 (turno tarde).	90
Figura 4.10 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DBO_{5(Bruta)}$ na lagoa F29 (turno tarde).	90
Figura 4.11 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DBO_{5(Filtrada)}$ na lagoa F29 (turno tarde).	91
Figura 4.12 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Bruta)}$ na lagoa F29 (turno tarde).	91
Figura 4.13 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila <i>a</i> na lagoa F29 (turno manhã).	92
Figura 4.14 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila <i>a</i> na lagoa F29 (turno tarde).	92

Capítulo 5

- Figura 5.1 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 18/04 a 27/10/2000, com amostras coletadas nos efluentes na série de 5 (cinco) lagoas em série, pela manhã 6 h 30 min.....104
- Figura 5.2 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 18/04 a 27/10/2000, com amostras coletadas nos efluentes na série de 5 (cinco) lagoas em série, a tarde 13 h 30 min.....105
- Figura 5.3 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na série de 5 lagoas (turno manhã).....130
- Figura 5.4 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na série de 5 lagoas (turno tarde).130
- Figura 5.5 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na série de 5 lagoas (turno manhã).131
- Figura 5.6 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na série de 5 lagoas (turno tarde).131
- Figura 5.7 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Bruta)}$ na série de 5 lagoas (turno manhã).....132
- Figura 5.8 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Filtrada)}$ na série de 5 lagoas (turno manhã).132
- Figura 5.9 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Filtrada)}$ na série de 5 lagoas (turno tarde).133

Figura 5.10 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila *a* na série de 5 lagoas (turno manhã).133

Figura 5.11 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila *a* na série de 5 lagoas (turno tarde).....133

INDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	xvii
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
CAPÍTULO 2 - Revisão bibliográfica	5
2.1 Águas residuárias.....	5
2.2 Lagoas de estabilização.....	6
2.3 Metabolismo microbiano em lagoas de estabilização.....	6
2.3.1 Oxidação aeróbia da matéria orgânica.....	7
2.3.2 Digestão anaeróbia de compostos orgânicos.....	8
2.4 Classificação das lagoas.....	10
2.4.1 Lagoas anaeróbias.....	12
2.4.2 Lagoas facultativas.....	13
2.4.3 Lagoas de maturação.....	15
2.4.4 Lagoas em série.....	16
2.5 Influência das características físicas e operacionais das lagoas.....	17
2.6 Efeitos de chicanas no funcionamento de lagoas.....	18
2.6.1 Tipos de chicanas.....	19
2.7 Algas.....	21
2.7.1 Considerações gerais.....	21
2.7.2 Gêneros de algas.....	22
2.7.3 Distribuição vertical das algas.....	25

2.7.4 Biomassa de algas (Clorofila <i>a</i>)	27
2.8 Estratificação térmica.....	27
2.9 pH.....	29
2.10 Oxigênio dissolvido.....	29
2.11 Glicose	30
2.11.1 Carboidratos.....	30
2.11.2 A importância dos carboidratos para os seres vivos.....	31
2.11.3 Glicose e a fotossíntese.....	31
2.11.4 Glicose e respiração.....	32
2.12 Produtos extracelulares solúveis.....	33
CAPÍTULO 3 - Materiais e métodos.....	38
3.1 Descrição dos sistemas experimentais.....	38
3.2 Alimentação dos sistemas experimentais.....	42
3.2.1 Operação dos sistemas experimentais.....	43
3.3 Metodologia de amostragem.....	48
3.3.1 Período e frequência.....	48
3.3.2 Metodologia de coleta... ..	48
3.3.3 Procedimento de coleta.....	49
3.3.4 Análise de amostras.....	51
3.4 Parâmetros físico-químicos.....	51
3.4.1 pH.....	51
3.4.2 Oxigênio dissolvido (OD).....	51
3.4.3 Temperatura.....	52
3.4.4 Glicose.....	52
3.4.5 DQO _(Bruta)	52
3.4.6 DQO _(Filtrada)	52
3.4.7 DBO _{5(Bruta)}	53
3.4.8 DBO _{5(Filtrada)}	53
3.5 Parâmetros algológicos.....	53

3.5.1 Biomassa de algas (Clorofila <i>a</i>)	53
3.5.2 Identificação e contagem de algas.....	53

CAPÍTULO 4 - Análise e apresentação dos resultados da lagoa F29...55

4.1 Análise estatística descritiva dos resultados da lagoa F29.....	55
4.1.1 Identificação do fitoplâncton.....	55
4.1.2 Contagem de organismos do fitoplâncton.....	56
4.1.3 Clorofila <i>a</i>	70
4.1.4 Temperatura.....	72
4.1.5 pH.....	74
4.1.6 Oxigênio dissolvido.....	76
4.1.7 DBO ₅ (Bruta).....	77
4.1.8 DBO ₅ (Filtrada).....	79
4.1.9 DQO _(Bruta)	80
4.1.10 DQO _(Filtrada)	82
4.1.11 Glicose.....	83
4.2 Análise de variância aplicada aos dados da lagoa F29.	85
4.3 Estudo de matrizes correlação dos dados da lagoa F29.....	93

CAPÍTULO 5 - Análise e Apresentação dos Resultados da série de 5

lagoas	102
5.1 Análise estatística descritiva dos resultados da série de lagoas.....	102
5.1.1 Identificação do fitoplâncton.....	102
5.1.2 Contagem de organismos do fitoplâncton.....	106
5.1.3 Clorofila <i>a</i>	112
5.1.4 Temperatura.....	113
5.1.5 pH.....	115
5.1.6 Oxigênio dissolvido.....	116
5.1.7 DBO ₅ (Bruta).....	118
5.1.8 DBO ₅ (Filtrada).....	120

5.1.9 DQO _(Bruta)	121
5.1.10 DQO _(Filtrada)	123
5.1.11 Glicose.....	124
5.2 Análise de variância aplicada aos dados da série de 5 lagoas.....	126
5.3 Estudo de matrizes correlação dos dados da série de lagoas.....	135
CAPÍTULO 6 - Discussão.....	140
6.1 Sobre a lagoa facultativa primária	140
6.2 Sobre a variação e a interação de fatores ao longo da série.....	145
6.3 Análise comparativa dos sistemas experimentais	149
CAPÍTULO 7 - Conclusão.....	152
CAPÍTULO 8 - Bibliografia.....	153

Capítulo 1

1 – Introdução

Ao longo de sua história os homens nas suas comunidades somam esforços para obter soluções para coletar e transportar as águas servidas. Descobertas arqueológicas na ilha de Creta, mostram sistemas de drenos de pedras que transportavam esgotos. Várias outras descobertas, nas diferentes regiões do mundo, também demonstraram que tal fato era comum entre as antigas civilizações. A prática de lançar os dejetos nos corpos d'água, também é antiga e bastante marcante na história da humanidade, especialmente quando são consideradas as conseqüências dessa prática em termos da disseminação de doenças.

Hoje, existem teorias e técnicas de tratamento e modelos capazes de prever, até mesmo, a qualidade final do efluente produzido num sistema de tratamento de águas residuárias. Também, resoluções e normas determinam valores toleráveis que um corpo receptor pode receber. Aparentemente, diante de toda a instrumentação técnica e legal atual, torna-se relativamente simples deter ou controlar os impactos das águas residuárias no meio ambiente. No entanto, particularmente em países em desenvolvimento, pode ser constatada toda uma prática de lançamento de águas residuárias em corpos aquáticos, quando não a sua utilização *in natura* em atividades como irrigação e aquicultura, rerepresentando o mesmo “antigo perigo” para a saúde pública.

Há, felizmente, entre as autoridades e entre vastos contingentes da população urbana a consciência sobre o perigo da disseminação de doenças através das águas residuárias bem como sobre a necessidade de tratá-las. Há também, entre esses, a consciência que o tratamento de esgotos é uma atividade de relativa complexidade e que representa custos sendo, por isso, requeridos processos cujo grau de complexidade e custo se situem dentro da capacidade da

comunidade. De fato, o processo ideal de tratamento de esgotos deveria satisfazer, o mais amplamente possível, aos seguintes critérios (Mara, 1976):

critério de saúde: o tratamento escolhido deve alcançar um alto grau de destruição de patogênicos;

critério de reuso: o processo de tratamento deve dar um produto seguro para reuso, de preferência na agricultura e aquicultura;

critério ecológico: quando o efluente não for reutilizado sua descarga num corpo receptor não deve exceder a capacidade de autodepuração do mesmo;

critério estético: o grau de odor despreendido deve se situar abaixo do limiar considerado ofensivo ao senso estético;

critério cultural: o método escolhido deve ser compatível com os hábitos e práticas sociais locais;

critério operacional: a experiência e habilidade requeridas para operação e manutenção devem ser disponíveis no local, ou administradas através de um treinamento mínimo;

critério de custo: os custos de investimento e de operação não devem exceder a capacidade de pagamento da comunidade.

Nenhum sistema satisfaz completamente todas essas necessidades e o desafio da gerência de esgotos consiste em minimizar as desvantagens tendo em vista as particularidades locais especialmente as relacionadas às condições sócio-econômicas da população e ao clima da região. Um dos sistemas de tratamento mais citados na literatura e, ultimamente, muito empregados em diferentes regiões do mundo, é aquele constituído por lagoas de estabilização havendo grande consenso a respeito de sua eficiência e seu baixo custo. De fato, as lagoas de estabilização constituem a solução mais simples e econômica para o tratamento de águas residuárias, principalmente para cidades de médio e pequeno

portes (Azevedo Netto, 1975). Essa constatação tem sido atestada, também por agências financiadoras internacionais (Arthur, 1983).

No mundo inteiro, pequenas comunidades fizeram a opção por lagoas de estabilização para tratar seus esgotos. Nos EUA existiam, no início da década de 80 mais de 5.000 sistemas baseados em lagoas representando cerca de um terço de todas as instalações de tratamento de esgotos. Na Alemanha existem mais de 2.000, na França são mais de 1.500. Grandes cidades também adotaram lagoas de estabilização, a exemplo da cidade de Aman, na Jordânia, que tem um sistema de lagoas com cerca de 180 hectares (de Oliveira, 1996).

Modernamente, o uso de lagoas de estabilização foi iniciado nos Continentes Americano e Europeu e na Austrália. Atualmente, têm sido amplamente introduzidas nos países de clima tropical, pois a experiência tem demonstrado que, nessas regiões, mais que em outras, as lagoas de estabilização são eficazes e econômicas, devido às condições climáticas, que favorecem o desenvolvimento dos processos de biodegradação da matéria orgânica. As vantagens, em regiões tropicais, são as seguintes: eficiência na remoção de matéria orgânica, baixo custo de construção, remoção eficiente de organismos patogênicos e simplicidade de operação e manutenção.

Hoje, em todo o Brasil, muitas cidades tratam seus esgotos com lagoas de estabilização, mesmo para o tratamento de vazões consideráveis de águas residuárias. Na cidade de Fortaleza-CE, um sistema de lagoas com mais de 80 hectares está em funcionamento (de Oliveira, 1996).

Desde 1975, na cidade de Campina Grande-PB, a EXTRABES, Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários, da Universidade Federal da Paraíba, vem desenvolvendo pesquisas sobre o desempenho operacional de lagoas de estabilização. Estudos diversos, em escala-piloto, sobre a eficiência de remoção, qualidade de efluentes, ciclos de nutrientes, organismos patogênicos, fluxo hidráulico, fitoplâncton, entre outros, em lagoas rasas e profundas, organizadas em série ou não, têm sido conduzidos com vistas a contribuir para o estabelecimento de parâmetros de projeto regionais.

Este trabalho, cuja motivação inicial foi a determinação de concentrações de glicose na massa líquida de uma lagoa facultativa primária profunda provida de chicanas, faz parte de um projeto maior, já parcialmente descrito (Diniz, 1999; Barros, 1999; Silva, 1999; Pedroza, 2000; Almeida, 2000), sobre **“A influência de chicanas no desempenho operacional de lagoas de estabilização”**. Inicialmente, o trabalho tinha o objetivo de estudar o relacionamento de concentrações de glicose com a biomassa fitoplanctônica e sua diversidade porque, dependendo do conjunto das condições do ambiente aquático, especialmente aquelas mais estressantes, o fitoplâncton pode eliminar quantidades consideráveis de polissacarídeos os quais podem influir no comportamento do reator, particularmente no metabolismo de populações de bactérias e mais particularmente de coliformes fecais.

Assim, no início, em vista das condições mais favoráveis (o sistema já estava em operação) o trabalho foi iniciado na massa líquida de uma lagoa facultativa primária profunda com chicanas longitudinais do tipo vai-e-vem (F29) sendo, posteriormente, estendido a uma série de 5 lagoas (1 anaeróbia, 1 facultativa, e 3 de maturação), também profundas e providas de chicanas longitudinais, tratando esgotos domésticos.

Este trabalho tem como principal objetivo contribuir com o estudo sobre a variação no ciclo diário de concentrações de produtos solúveis em termos de glicose e sua relação com a biomassa do fitoplâncton em lagoas de estabilização, em escala-piloto, tratando águas residuárias domésticas. Foram analisadas, entre outras, variáveis características para a quantificação da biomassa, como clorofila α , e de espécies orgânicas solúveis, como glicose e DBO_5 e DQO em alíquotas de amostras filtradas.

Capítulo 2

2 - Revisão de literatura

2.1 Águas residuárias

Em nome do desenvolvimento, conforto e bem estar o homem lança mão de atividades e processos que geram resíduos (sólidos, líquidos e gasosos). As águas residuárias de origem doméstica, industrial e agrícola constituem parte desses resíduos as quais pela sua quantidade e qualidade tendem a exercer fortes impactos ambientais, particularmente sobre as águas e o solo, atingindo principalmente as comunidades mais carentes de infra-estrutura sanitária.

As águas residuárias domésticas são constituídas principalmente por águas servidas, dejetos humanos, substâncias químicas, detergentes, sabões e gorduras, além de inúmeros organismos causadores de doenças. Apenas uma fração de 0,1% das águas residuárias domésticas, que corresponde à fração de material sólido que concentra todos os contaminantes da água residuária, necessitariam ser tratadas, antes do seu lançamento em corpos receptores. Na prática, no entanto, ocorrem certos paradoxos como, por exemplo, a utilização de grandes volumes de água (7 a 14 e até mesmo 20 litros) para a descarga de cerca de 250 g de fezes produzidas diariamente por uma pessoa.

O homem sempre usou os rios, lagos e açudes como depósitos de esgoto. Ao longo do tempo, no entanto, foi sendo firmado o conceito de mudança dessa concepção surgindo, em conseqüência, a necessidade do tratamento das águas residuárias. Com o contínuo aumento da população e da urbanização do mundo as pressões ambientais dos resíduos também aumentaram, havendo cada vez mais, a necessidade de tratar os resíduos e mudar hábitos sendo, para isso, requeridos investimentos em tecnologia e educação para a população.

2.2 Lagoas de estabilização

Tradicionalmente, lagoas de estabilização, têm sido definidas como grandes reservatórios de pequena profundidade providos de paredes de contenção construídas em alvenaria, diques de terra ou mesmo escavados no terreno, nos quais águas residuárias são tratadas através de uma combinação de mecanismos físico-químicos e, principalmente, biológicos com base na ação metabólica de bactérias e algas. Lagoas de estabilização, no entanto, podem ser definidas como ecossistemas aquáticos, hipereutróficos, nos quais a matéria orgânica de origem vegetal e animal das águas residuárias é mineralizada pela ação metabólica de organismos heterótrofos, especialmente bactérias. Os compostos resultantes servem de nutrientes para organismos autótrofos, como algas e cianobactérias, que comumente colonizam as lagoas devido a presença de um conjunto de fatores ambientais propícios ao seu desenvolvimento. A propósito, o crescimento de algas em lagoas de estabilização é vantajoso com respeito à oxigenação da massa d'água o que contribui para facilitar a decomposição aeróbia da matéria orgânica (Cosser, 1982).

De fato, uma lagoa de estabilização constitui-se numa verdadeira indústria da reciclagem, através da qual águas residuárias têm sua qualidade melhorada, em graus diversos, dependendo de como os reatores são projetados e combinados num sistema em série, podendo os líquidos efluentes serem lançados em corpos receptores ou, preferencialmente, usados na agricultura ou aquicultura.

2.3 Metabolismo microbiano em lagoas de estabilização

Os processos biológicos de tratamento de esgotos se baseiam nas inter-relações existentes entre os diferentes microrganismos e o meio ambiente (Ceballos, 2000). Durante a degradação biológica, a matéria orgânica, compostos de elevado peso molecular, ricos em energia, são reduzidos a compostos de baixo peso molecular e de baixo conteúdo energético (Sousa, 1994). As exo-enzimas

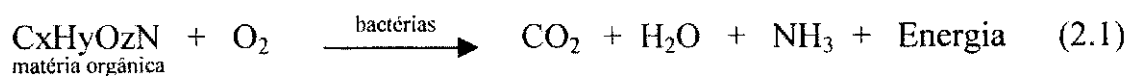
bacterianas hidrolisam as moléculas orgânicas complexas em outras mais simples, que são, então, absorvidas através da parede celular e metabolizadas no interior da célula (Silva e Mara, 1979).

Para que os processos biológicos sejam bem sucedidos, Arthur (1983), cita os principais mecanismos responsáveis pela eficácia do tratamento de águas residuárias nas lagoas de estabilização são: o efeito reservatório, que torna possível à lagoa absorver cargas hidráulicas e orgânicas de choque; a sedimentação, que permite a deposição de sólidos sedimentáveis, e a estabilização da matéria orgânica, por oxidação aeróbia, nas camadas próximas a superfície e por digestão anaeróbia, nas camadas mais profundas. Nas lagoas, em função dos processos metabólicos das bactérias, podem ser observados processos aeróbios e/ou anaeróbios de degradação da matéria orgânica.

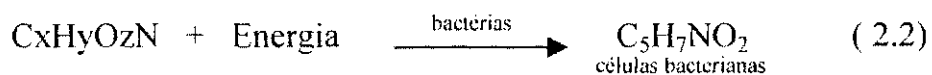
2.3.1 Oxidação aeróbia da matéria orgânica

Na estabilização aeróbia, os organismos utilizam oxigênio molecular à medida que metabolizam matéria orgânica e sintetizam protoplasma celular a partir de nitrogênio, fósforo, carbono e outros nutrientes (Gotaas, 1956). O metabolismo bacteriano é composto por duas fases:

1ª) catabolismo (ou decomposição) na qual a matéria orgânica é oxidada para a liberação de energia, sendo o material orgânico metabolizado, transformado em produtos finais estáveis, tais como dióxido de carbono, água, fosfato e amônia, como mostra a equação 2.1 (van Haandel e Marais, 1999):



2ª) anabolismo (ou recomposição) na qual esse suprimento de energia servirá para a formação de novas células. Esta reação, descrita pela equação 2.2, ocorre simultaneamente com a descrita anteriormente, conforme equação seguinte (Mara, 1976):



A Figura 2.1 resume o processo de oxidação aeróbia do material orgânico presente nas águas residuárias.

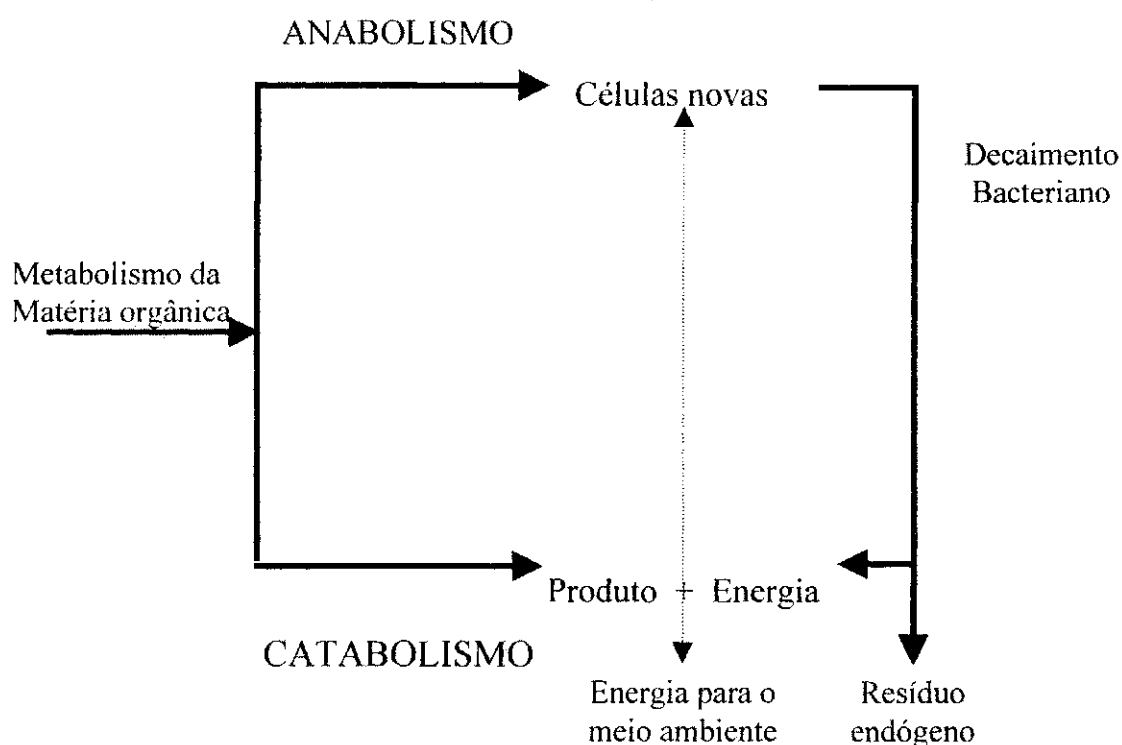


Figura 2.1 – Processo de oxidação aeróbia
Fonte: (van Haandel e Marais, 1999)

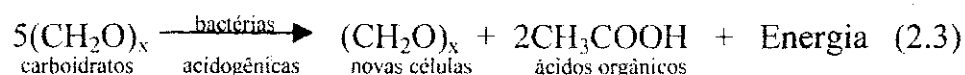
2.3.2 Digestão anaeróbia de compostos orgânicos

A digestão anaeróbia é um processo envolvendo os mecanismos de respiração anaeróbia e de fermentação que pode ser descrito simplificada

como se desenvolvendo em dois estágios: fermentação ácida e fermentação metanogênica (Silva e Mara, 1979).

1.º) Fermentação ácida

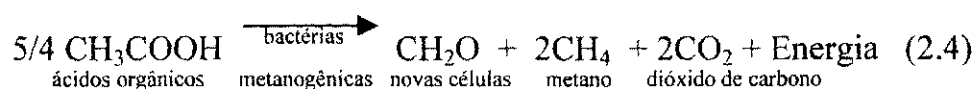
Neste estágio as bactérias anaeróbio-facultativas, logo após a hidrólise do material orgânico presente no esgoto, convertem os compostos orgânicos complexos em moléculas orgânicas mais simples (ácidos orgânicos tais como acético e propiônico). Esse estágio, também é conhecido como putrefação em função da formação de produtos finais de odores desagradáveis (Stanier *et al.*, 1969). A equação 2.3 representa a conversão de carboidratos, a novas células com produção de ácido acético:



2.º) Fermentação metanogênica

Neste estágio, os produtos de degradação ácida, principalmente o ácido acético, constituem o substrato necessário para a ação das bactérias metanogênicas, que os convertem para metano e dióxido de carbono.

A equação 2.4 descreve a produção de metano e dióxido de carbono pelas bactérias metanogênicas a partir do ácido acético produzido na primeira fase:



A estabilidade do processo de digestão depende do equilíbrio dos dois estágios biológicos (Hammer, 1979). A primeira fase, ácida, desenvolve-se bem em pH por volta de 5 enquanto que a fase seguinte funciona melhor numa faixa

de pH mais elevada (6,4 a 7,2) (Branco, 1986). Além de extremamente sensíveis ao abaixamento de pH (Hammer, 1979), as bactérias formadoras de metano possuem crescimento lento (Mara, 1976; Silva e Mara, 1979), o que confere à fase metanogênica caráter limitante do processo de tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos (Metcalf & Eddy, 1988). As bactérias acidogênicas crescem mais rápido que as metanogênicas promovendo diminuição do pH da massa líquida em função de sua produção de ácidos orgânicos. Por outro lado, a formação de amônia resultante da degradação dos aminoácidos tem o poder de neutralizar parte dos ácidos remanescentes (Branco, 1986). Essa função tamponadora também é desenvolvida, no processo, por outras espécies químicas constituintes da alcalinidade da massa líquida (Sousa, 1994).

Segundo, van Haandel e Lettinga (1994), todo o processo de digestão anaeróbia também pode ser descrito em quatro etapas distintas; hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O estágio, já referido, da fermentação ácida corresponde às três primeiras etapas e o estágio da fermentação metanogênese corresponde à última etapa. A representação das etapas na digestão anaeróbia, conforme a descrição de van Haandel e Lettinga (1994), pode ser vista na Figura 2.2.

2.4 Classificação das lagoas

Segundo a maioria dos autores, as lagoas de estabilização podem ser classificadas, em anaeróbias, facultativas e de maturação, de acordo com o processo predominante de biodegradação da matéria orgânica: a oxidação aeróbia ou a digestão anaeróbia (Arthur, 1983). No entanto esta predominância relativa é, de fato, definida pela faixa de cargas orgânicas a que as lagoas estão submetidas (de Oliveira, 1990).

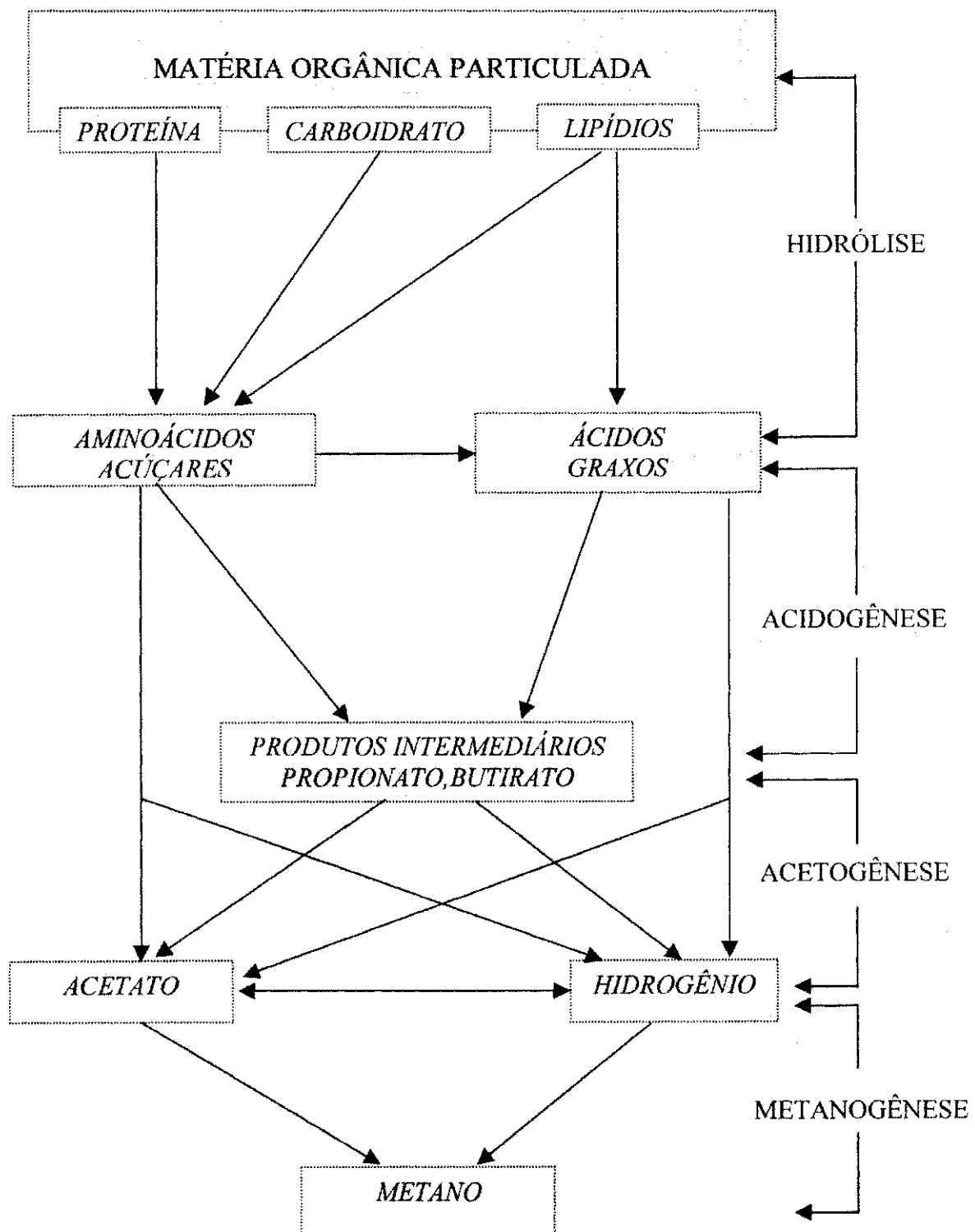


Figura 2.2 – Processo de digestão anaeróbia
 Fonte: (van Haandel e Lettinga, 1994).

2.4.1 Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias têm sido usadas como método de tratamento de águas residuárias há mais de meio século, em várias partes do mundo (Barros, 1999). São projetadas para receberem água residuária bruta (alta carga orgânica) contendo elevada concentração de sólidos (Metcalf & Eddy, 1988). São reatores usados para o tratamento primário do esgoto e constituem um eficiente processo de tratamento (Dinges, 1982), mas seus efluentes têm características físico-químicas e biológicas incompatíveis com os padrões de lançamento, pois têm elevada DBO_5 e características microbiológicas capazes de oferecer riscos à saúde (Sousa, 1994). Caso esses efluentes sejam lançados no ambiente e haja o contato com seres humanos. Havendo, portanto, a necessidade de tratamento posterior o que, geralmente, é levado a efeito numa lagoa facultativa secundária. Um dos objetivos básicos destas lagoas é reduzir a demanda bioquímica de oxigênio (Dinges, 1982). O tratamento é levado a efeito principalmente pelos mecanismos de sedimentação do material em suspensão e digestão anaeróbia da matéria orgânica (Metcalf & Eddy, 1988). Este último, constitui o processo biológico, de fato, atuante nessas lagoas já que a alta carga de DBO_5 e de sólidos sedimentáveis impedem o desenvolvimento de zonas oxigenadas (Arthur, 1983), não ocorrendo, por conseguinte, o desenvolvimento de algas.

Mara (1976) afirma que, para a operação, o funcionamento eficiente de lagoas anaeróbias seja bem sucedida é necessário que exista um delicado equilíbrio entre as atividades das bactérias metanogênicas e acidogênicas, para tanto são necessárias temperaturas acima de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o valor de pH deve ser acima de 7,0, pois valores tendendo a 6,0 indicam que o processo pode entrar em colapso.

Mara (1976) recomenda profundidades de 2 a 5 m para as lagoas anaeróbias, pois proporcionam áreas menores para a sua construção, e garantem a predominância das condições anaeróbias e, assim, proporcionam um máximo de

retenção de calor (Herman, 1962; Jezialic, 1971). O tratamento que ocorre nas lagoas anaeróbias não depende da radiação solar, não havendo, portanto, necessidade de grande superfície exposta (Branco, 1986).

A carga orgânica volumétrica geralmente aplicada a este tipo de lagoa varia de 100 a 400 gDBO₅/m³.dia (Silva e Mara, 1979). Concentrações superiores ao limite superior tendem a gerar problemas de maus odores e concentrações menores que o limite inferior dificultam a manutenção da lagoa completamente anaeróbia.

Os tempos de detenção hidráulica empregados nestas lagoas estão, normalmente, na faixa de 1 a 4 dias (Cairncross e Feachem, 1983).

2.4.2 Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são o tipo de lagoas de estabilização mais comumente utilizadas (Silva, 1982; de Oliveira, 1995). Recebem a denominação, “facultativa”, devido o fato de que tanto condições aeróbias como anaeróbias coexistem no interior do reator. Quando recebem águas residuárias brutas, são denominadas “lagoas facultativas primárias”, e quando recebem despejos primariamente tratados, são denominadas “lagoas facultativas secundárias” (Guimarães, 1986; de Oliveira, 1990).

A matéria orgânica (afluente) em suspensão, ao sedimentar no fundo da lagoa, forma uma camada de lodo, que é biodegradada sob condições anaeróbias, sendo convertida em gás carbônico, metano e outros gases restando, depois de algum tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) (von Sperling, 1996). Nestas camadas profundas, a ausência de luz impede o desenvolvimento de algas e, assim, se estabelecer condições inteiramente anaeróbias distintamente das camadas mais superficiais, onde ocorrem atividades aeróbias e a matéria orgânica é oxidada, com base no mecanismo da respiração aeróbia de microrganismos aeróbios-facultativos, especialmente bactérias. Estas camadas que, segundo Pearson (1987), têm espessura de 0,3 a 0,5 m, são ambientes favoráveis ao

desenvolvimento das algas, que nelas realizam a sua fotossíntese, devido à existência da energia solar e de nutrientes (Feitoza, 1983), deixando em períodos de intensa atividade um resíduo de oxigênio. Nas camadas intermediárias, entre a superfície e as camadas mais profundas, no lodo, predomina a degradação biológica realizada por bactérias facultativas, que podem suportar tanto condições de aerobiose como anaerobiose.

Segundo Guimarães (1986), a fase aeróbia é mantida devido ao fornecimento de oxigênio que é feito, principalmente, pelo processo de fotossíntese de algas e cianobactérias sendo que uma pequena parcela é resultante da difusão do oxigênio do ar atmosférico. Simultaneamente ao processo de fotossíntese, a oxidação bacteriana libera dióxido de carbono (CO_2) o qual é incorporado pelas algas na síntese do material celular (Farias, 1989). Nas lagoas facultativas, é observada uma relação simbiótica entre as algas e as bactérias caracterizada como mutualismo (Mara, 1976).

Nestas lagoas é evidente a colonização de microalgas, através da camada superficial, as quais conferem à massa líquida uma coloração esverdeada (König, 2000).

Segundo Sousa (1994), a radiação solar direta é a única fonte de energia para os organismos autotróficos nos ecossistemas aquáticos e, ao penetrar na coluna d'água, essa radiação se modifica; sendo parte absorvida e transformada em energia química pela fotossíntese e parte absorvida como energia calorífica que se manifesta no aquecimento da água e subsequente aumento da temperatura. Estas formas de energia na massa líquida das lagoas têm grande importância para a vida e distribuição dos organismos (Branco, 1986). De fato, a fonte de energia essencial à fotossíntese é a luz do sol. Em dias com um grande número de horas iluminadas, há um expressivo crescimento de algas e uma maior produção de oxigênio (Dinges, 1982) enquanto que à noite, os níveis de oxigênio baixam e a lagoa pode tornar-se anaeróbia.

Nas lagoas facultativas, como de um modo geral nas lagoas de estabilização, a carga orgânica é um dos principais fatores que tendem a

influenciar a diversidade de gêneros de algas, promovendo o desenvolvimento de grandes quantidades de algas (grande biomassa), porém de poucos gêneros. Em lagoas facultativas primárias com cargas orgânicas acima de 400 kgDBO₅/ha.dia, a biomassa algal, expressa como clorofila *a*, diminuem consideravelmente (Mara *et al.*, 1983). König (1984), cita que a faixa de cargas superficiais que favorece o crescimento de algas em lagoas facultativas no Nordeste do Brasil é 170 a 230 kg DBO₅/ha.dia.

Para que haja um bom desempenho das lagoas facultativas, em climas tropicais, Silva (1982) recomenda, cargas superficiais variando entre 150 e 350 kgDBO₅/ha.dia, com profundidades que variam de 1,0 a 1,5 m (Silva e Mara, 1979). No entanto, Silva *et al.*, (1979), também asseguram que lagoas com 2,0 m de profundidade trazem economia de terreno.

2.4.3 Lagoas de maturação

Usualmente as lagoas de maturação são empregadas para receber efluentes de lagoas facultativas ou de outro tipo de tratamento (Bartone, 1986), ou ainda de outra lagoa de maturação caso o tratamento seja em série. Numa série de lagoas, lagoas de maturação têm a finalidade de melhorar as condições do efluente da lagoa anterior promovendo a remoção de microrganismos patogênicos e parasitas intestinais embora seja verificada, também, uma redução adicional de sólidos em suspensão, nutrientes e metais pesados, ou ainda uma razoável remoção de DBO₅ (Mara e Pearson, 1986).

As lagoas de maturação (rasas) são predominantemente aeróbias, ao longo de sua coluna líquida particularmente nas horas mais iluminadas, em vista da remoção da maior parte da carga orgânica afluyente ter ocorrido em reatores precedentes, porém, num curto espaço de tempo e nas primeiras horas da manhã, podem as camadas mais profundas tornar-se anaeróbias (Pearson, 1987). Como estas lagoas recebem baixas cargas orgânicas, suas águas apresentam menor turbidez e esta característica permite que a radiação solar chegue até as camadas mais profundas, favorecendo a atividade fotossintética de algas e cianobactérias

e, como consequência, melhorando a distribuição do oxigênio dissolvido na coluna d'água. Outro fato associado à radiação solar que ocorre nessas lagoas é que, ela contribui diretamente para eliminar muitos organismos patogênicos. Como já foi citado antes, as cargas orgânicas afluentes são reduzidas, logo, o menor teor de nutrientes não favorece o sustento de grandes populações de organismos heterotróficos (Pearson, 1987; de Oliveira, 1995).

Numa série, os valores de pH aumentam gradativamente desde a lagoa anaeróbia até a última de maturação, bem como ao longo da coluna líquida de uma lagoa individual, desde do fundo até a superfície onde os maiores valores ocorrem na superfície. Esta variação de pH tem uma relação direta com a atividade fotossintética do fitoplâncton sendo que a uma maior disponibilidade de gás carbônico por parte desta resultando uma maior liberação de hidroxilas, pela dissociação do íon bicarbonato e, conseqüentemente, um aumento do pH.

A profundidade das lagoas de maturação varia de 1,0 a 2,0m (Mara e Pearson, 1986; de Oliveira, 1990) mas de Oliveira (1990) estudou, no Nordeste do Brasil, uma série com lagoas de maturação com 2,2 m de profundidade. Nas lagoas rasas (de 1,0 a 1,5 m), há uma maior incidência da luz solar, é distribuída em toda a massa líquida e, conseqüentemente, de acordo com Moeller e Calkins (1980) e Mayo (1989) maior será a taxa de decaimento bacteriano. Porém, as pequenas profundidades nas lagoas de maturação requerem maiores áreas superficiais, para melhores remoções de organismos patogênicos o que pode resultar na ocupação de maiores áreas de terreno e elevados custo de construção.

2.4.4 Lagoas em série

Lagoas em série é um tipo de configuração de sistemas de tratamento no qual o efluente de uma lagoa é o afluente de uma unidade seguinte tendo a finalidade de dar continuidade ao tratamento biológico do esgoto. Comumente,

numa série, a primeira lagoa projetada é uma lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa (secundária) e, dependendo do projeto, um determinado número de lagoas de maturação (Mara e Pearson, 1986). O número de lagoas da série é determinado pelo grau de tratamento desejado, bem como pelo destino do efluente final, associado à conhecimento e habilidade do projetista para uma combinação adequada de parâmetros físicos e operacionais que promovam um bom desempenho a um menor custo (de Oliveira, 1996).

Com uma série de lagoas é possível o desenvolvimento de vários ambientes, cada um com capacidade particular de tratamento. Ecologicamente, pode ser afirmado que, quanto maior a diversidade em espécies, há um maior aproveitamento dos níveis tróficos, o que conduz à maior estabilidade do ecossistema (Matheus, 1986).

O efluente de uma série de lagoas de estabilização é de melhor qualidade físico-química e microbiológica do que o efluente de uma única lagoa, com a mesma área, tempo de detenção hidráulica e carga orgânica aplicada (Marais, 1974), visto que um sistema de tratamento dotado de lagoas em série se aproxima de um reator de carga não dispersa que é, comprovadamente, mais eficiente que um de carga totalmente dispersa (Trajano, 1999). Segundo Silva (1982), com uma série de lagoas, pode-se, inclusive, alcançar um grau tal de purificação bacteriológica no efluente final, que possibilita a sua utilização em irrigação irrestrita pois, pode atingir valores menores que 1000CF/100ml recomendado pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989).

2.5 Influência das características físicas e operacionais das lagoas

As principais características físicas das lagoas de estabilização são a profundidade e a relação comprimento/largura. Para a maioria dos autores, a profundidade é a característica física mais importante pois, ela está relacionada a um aumento ou diminuição do tempo de detenção hidráulica, com a incidência de

luz na massa líquida e com o crescimento ou não de vegetação aquática e a remoção de matéria orgânica.

2.6 Efeitos de chicanas no funcionamento de lagoas

As chicanas são barreiras fixas (alvenaria) ou móveis (cortinas de plástico) que são construídas ou colocadas no interior das lagoas, de modo a ficarem praticamente imersas, e assim direcionar o fluxo do líquido. Confeccionadas de plástico as chicanas têm a vantagem de serem removíveis e facilmente manuseadas, sendo possível realizar diferentes configurações na lagoa (Johansson *et al.*, 1996). As chicanas também se comportam como discos biológicos, servindo de substrato para o rápido crescimento de bactérias e algas. Middlebrooks *et al.*, (1982), realizando experimentos em lagoas com chicanas, observou que populações microbianas (bactérias e algas) aderem às chicanas, proporcionando maior eficiência ao tratamento, comparado a um outro sistema sem chicanas. De fato, as chicanas servem como habitat para o crescimento de bactérias e algas aderidas a elas e, dessa maneira, ocorre aumento da biomassa da lagoa e, conseqüentemente, a capacidade de tratamento.

De fato, chicanas atuam primariamente na melhoria do desempenho de lagoas de estabilização por agirem como barreiras ordenadoras do fluxo hidráulico e, conseqüentemente, controlam a dispersão longitudinal do líquido a qual é a maior causa de ineficiência hidráulica de reatores de tratamento. Além disso, tendem a eliminar a estratificação térmica e os espaços mortos, e diminuir a formação de placas de sólidos nos cantos das lagoas (Barros, 1999). Johansson *et al.*, (1996) realizando um trabalho na cidade de Mindelo, ilha de Cabo Verde, observou que o uso de chicanas provou ser eficiente na remoção de coliformes fecais a despeito de ter diminuído tanto a área superficial como o tempo de detenção das lagoas.

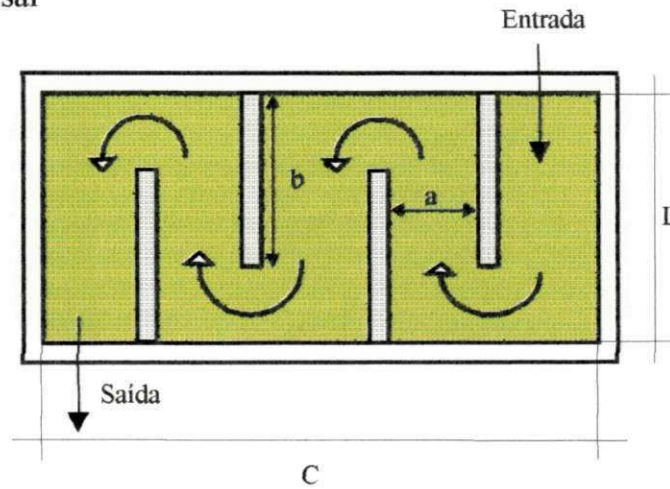
2.6.1 – Tipos de chicanas

As chicanas podem ser do tipo transversal, vertical ou longitudinal (Figura 2.3). Middlebrooks *et al.* (1982) estudaram a melhor relação entre o tamanho das chicanas do tipo transversal e sua eficiência. Conduziram experimentos com valores de K de 0,50, 0,70 e 0,90, onde, K representa a extensão da chicana com relação à largura da lagoa (por exemplo, $K = 0,70$ significa que a chicana foi estendida até 70% da largura da lagoa). Os seus estudos recomendaram $K = 0,70$, pois para $K = 0,90$, jatos d'água com alta velocidade foram criados, com formação de corredores estreitos, reduzindo o tempo de detenção e a eficiência do tratamento e para $K = 0,50$ não houve desenvolvimento de uma boa mistura.

Nas chicanas longitudinais, o tamanho da chicana é especificado de modo que a área da seção por onde passa o fluxo seja o mais constante possível.

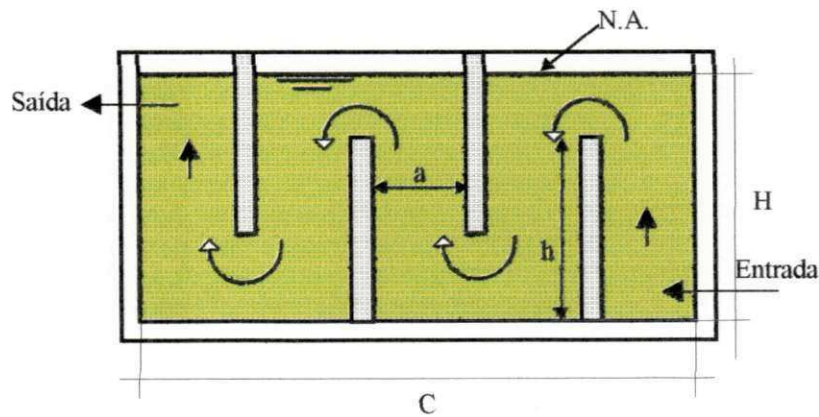
No projeto de chicanas, os fatores econômicos (custo) e estéticos devem ser observados e avaliados. As chicanas podem ser construídas de alvenaria de tijolos revestidas com argamassa de cimento e areia, podendo ficar parcialmente imersas na massa líquida, contribuindo para a estética do sistema. As chicanas do tipo vai-e-vem contribuem mais para a aproximação das condições de fluxo pistão, pois permitem a maior relação entre o comprimento e a largura da lagoa, fator este que tem sido citado como o mais importante na obtenção das melhores condições de escoamento (de Almeida, 1997). Em lagoas de estabilização providas de chicanas longitudinais o número de dispersão decresce com o aumento da extensão do fluxo e o número de chicanas o que indica uma melhor aproximação das condições de fluxo pistão (Muttamara e Puetpioboon, 1996). Barros (1999) cita que, quanto maior o número de chicanas maior é a eficiência de remoção de DBO_5 e DQO, aliado a um longo tempo de detenção hidráulica. Pearson (1996), em estudos no Nordeste do Brasil, com lagoas de maturação, demonstrou que as lagoas providas de chicanas são mais eficientes na remoção de coliformes fecais.

a) Transversal



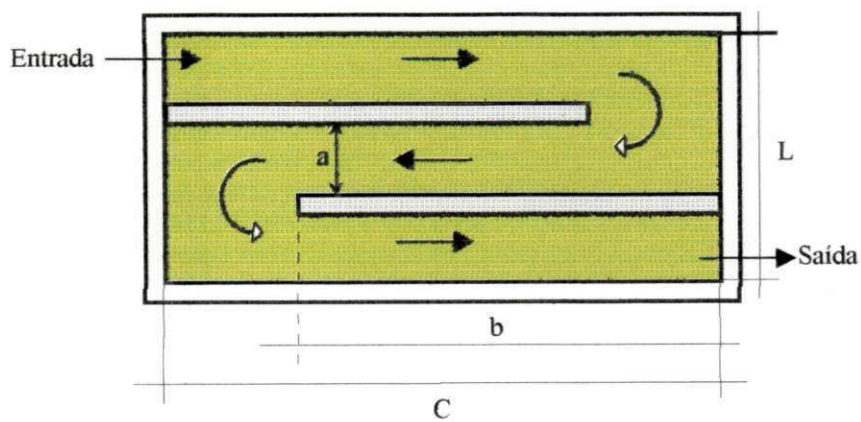
Onde:
 C – comprimento
 L – largura
 a – espaçamento
 entre as chicanas
 b – comprimento
 das chicanas

b) Vertical



Onde:
 C – comprimento
 H – profundidade
 h – altura da
 chicana
 a – espaçamento
 entre as chicanas

c) Longitudinal (vai-e-vem)



Onde:
 C – comprimento
 L – largura
 b – comprimento
 das chicanas
 a – espaçamento
 entre as chicanas

d) Longitudinal (Paralela)

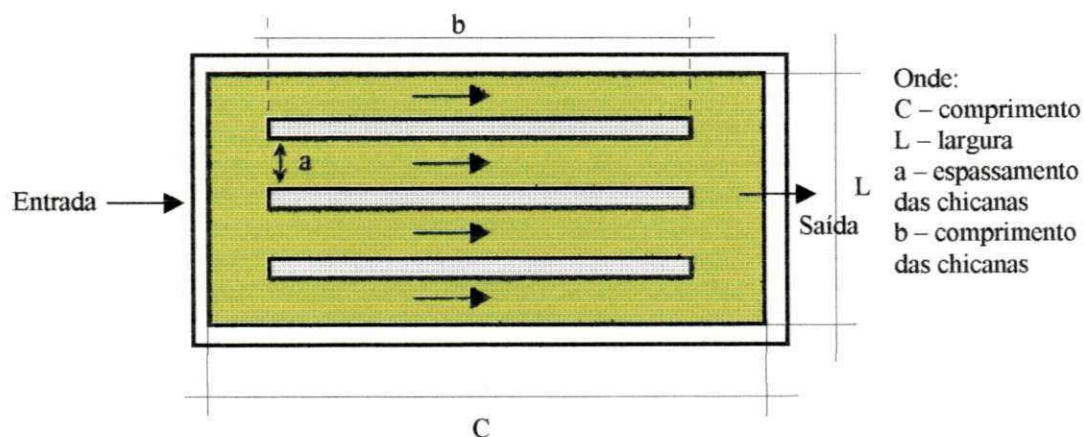


Figura 2.3 Tipos de Chicanas

2.7 Algas

2.7.1 Considerações gerais

As algas constituem um grupo heterogêneo de organismos clorofilados, do Reino Protista, que, distintamente das bactérias, possuem membrana nuclear (eucarióticos), com exceção das cianobactérias que são procariontes (Monera). São seres tipicamente aquáticos predominando em águas pouco profundas expostas à radiação (Palmer, 1969). No meio aquático, ambiente propício ao seu crescimento e multiplicação (Hammer, 1979), as algas são os maiores produtores primários de compostos orgânicos (Round, 1973).

Nos ambientes das lagoas de estabilização (facultativas e de maturação) as algas e cianobactérias são os principais componentes do fitoplâncton o qual se destacam por produzir oxigênio molecular necessário ao processo bacteriano de oxidação da matéria orgânica presente nas águas residuárias (Cosser, 1982). Em lagoas facultativas, o crescimento do fitoplâncton é intenso constituindo-se num bom indicador da oxigenação da massa líquida sendo, de fato, um fator essencial

na manutenção de níveis satisfatórios de oxigênio nestes ambientes (Parker, 1962; Round, 1973).

A fotossíntese se realiza na presença da luz solar, clorofila *a*, do dióxido de carbono, sais minerais e da água, com a produção de carboidratos. Na fotossíntese, o oxigênio produzido pelo fitoplâncton, é consumido por bactérias e outros microrganismos da biota aquática. Simultaneamente, no processo fotossintético, o fitoplâncton respira, durante todo o dia, consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono.

A inibição da fotossíntese pode ocorrer, devido à supersaturação de oxigênio e baixos níveis de carbono (Round, 1981), podendo ser afetada, também, por temperaturas abaixo de 5 °C e acima de 35 °C (Bush *et al.*, 1961). A multiplicação das algas acontece em pH, variando de 7,0 a 8,5, caso contrário a multiplicação é inibida (Bush *et al.*, 1961). Nas lagoas de estabilização (facultativa e maturação) em climas tropicais os fatores que contribuem para o desenvolvimento das algas, é uma grande disponibilidade de energia luminosa, proporcionada pela área superficial da lagoa e as concentrações elevadas de nutrientes, particularmente carbono (C), nitrogênio (N) e o fósforo (P).

2.7.2 Gêneros de algas

Em lagoas de estabilização, as microalgas constituem um dos mais diversificados grupos de microrganismos. König (1984), cita que os tipos de algas encontradas em lagoas de estabilização variam consideravelmente, mas, de um modo geral, pertencem a quatro Phyla, Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta e Bacillariophyta os mesmos citados por Mara e Pearson (1986), Dinges (1982) e Palmer (1969). As suas principais características são descritas a seguir:

Cyanophyta (Cyanobactéria) reúne organismos procariontes unicelulares, filamentosos ou coloniais, com bainha ou sem mucilagínosa. Devido a presença

de ficocianina e ficoeritrina, assumem coloração azulada ou verde-azulada, também são encontradas com outras colorações, desde amarela, vermelha até violeta, dependendo da espécie e do habitat (Round, 1973). São organismos de metabolismo fotoautotrófico, com pigmentos dispersos no citoplasma. Podem ser autótrofas, assimilando CO_2 na presença de energia solar e na ausência de luz (Esteves, 1986), mixotróficas, utilizando tanto CO_2 como compostos orgânicos. Apresentam clorofila *a* e têm como material de reserva a poliglicose.

Euglenophyta é o *phylum* que reúne organismos eucariontes unicelulares, não têm parede celular e a reprodução se processa por divisão binária. Possuem cloroplastos, fazem fotossíntese e algumas em condições especiais capturam alimento através de invaginações em sua célula. Têm clorofila *a* e *b*, e como material de reserva, o paramilo. *Euglena*, um dos principais gêneros metaboliza fotoautotroficamente na luz e quimioheterotroficamente no escuro sendo juntamente com outros gêneros, entre os quais *Phacus*, encontrada em ambientes com elevado conteúdo orgânico. De fato, *Euglena* é considerado o gênero mais tolerante à poluição segundo Palmer (1969).

Chlorophyta, compreende eucariontes que podem ser unicelulares ou colônias, apresentando filamentos ramificados ou não (Branco, 1986). Possuem clorofilas *a* e *b*, carotenos e xantofilas ordenados em cloroplastos, organelas nas quais se realiza a fotossíntese. Apresentam-se nas cores verde clara, amarelada ou verde escura. Estes organismos têm como produto final imediato da fotossíntese moléculas de glicose que se agrupam posteriormente formando amido (material de reserva) que é depositado na região pirenóide (Sousa, 1994). Segundo Branco (1986), é possível que nestes se encontrem enzimas que catalisam a transformação de açúcares solúveis, formados na fotossíntese, em amido solúvel.

Bacillariophyta, compreende as algas conhecidas como diatomáceas, as quais são eucariontes unicelulares ou coloniais. Possuem na parede celular o

dióxido de sílica, que forma uma carapaça ou frústula. As substâncias de reserva são óleos (Branco, 1986). As diatomáceas possuem clorofilas *a* e *c*, mas, também, podem ser encontradas na cor marrom, devido à fucoxantina.

O fitoplâncton presente nas lagoas de estabilização é responsável pela fotossíntese, e com representantes dos 4 Phyla descritos anteriormente, sendo que a predominância de um deles está diretamente relacionada à composição do meio. Portanto, nas lagoas dependendo da carga orgânica pode existir uma cultura bastante heterogênea de algas e um gênero predominante, sendo uma resposta às alterações físico-químicas que ocorrem nas águas residuárias (Sousa, 1994). Lagoas que recebem altas cargas orgânicas apresentam um número pequeno de gêneros de algas, mas com muitos representantes de cada um. Enquanto que, lagoas com baixas cargas orgânicas têm um número maior de gêneros de algas, com poucos indivíduos de cada um (König, 1990). Estudando dois experimentos em lagoa facultativa secundária no Nordeste do Brasil, König (1984), observou que num primeiro experimento com carga orgânica menor, foram identificadas 10 gêneros de algas, enquanto que num segundo experimento, de carga orgânica maior, foram identificadas 5 gêneros. Barbosa (1989), estudando uma série de 5 lagoas profundas no Nordeste do Brasil, também observou que ao longo do sistema, ocorre uma relação inversa entre carga orgânica e diversidade de gêneros de algas.

Segundo Mara e Pearson (1986), os gêneros de algas mais freqüentes em lagoas de estabilização facultativas em clima tropical são: de um modo geral, junto à entrada da lagoa, predominam os gêneros flagelados pigmentados, tais como, *Euglena* e *Phacus*, e algas verdes como *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys*; onde há matéria orgânica degradada predominam as algas verdes *Chlorogonium* e *Chlorella*, e algas flageladas como *Pandorina*, *Volvox* e *Eudorina* e as cianobactérias *Oscillatoria*. König (1984), estudando quatro lagoas facultativas primárias, relata que o gênero *Euglena* foi a alga mais freqüente em todas as lagoas. Nas lagoas anaeróbias a biomassa de algas é muito restrita limitando-se a gêneros flagelados, particularmente *Chlamydomonas* (Pearson, 1987), numa fina

camada superficial da massa líquida (Trajano, 1999). A Tabela 2.1 mostra as algas mais comumente presentes em lagoas de estabilização em climas tropicais.

2.7.3 Distribuição vertical de algas

Nas lagoas de estabilização, em função da possibilidade de penetração de luz na coluna d'água ou da elevada turbidez, duas zonas são bem definidas. As camadas superficiais com maior penetração de luz, definem a zona eufótica. As camadas mais profundas onde a luz do sol não chega, formam a zona afótica, que dependendo da profundidade da lagoa é bem maior que a zona eufótica. Estas condições de luz, associadas à distribuição de nutrientes, temperatura e gases nas lagoas são de grande importância na distribuição das algas na coluna d'água. Mara *et al.*, (1983) e vários outros autores têm se referido a deslocamentos de algas na coluna d'água em função das variações de luz.

A realização do processo de fotossíntese depende diretamente da quantidade de energia solar que atinge as algas. Na massa líquida de uma lagoa, há uma distribuição dos gêneros de algas por camadas em função da luz existente (Hartley e Weiss, 1970). A permanência ou não de uma alga numa determinada camada está associada a mecanismos especiais de adaptação, como as algas que possuem flagelos e, portanto, podem se locomover para outras camadas e as algas que a despeito de suas maiores dimensões não afundam por ter desenvolvido mecanismo que impeçam (Branco, 1986).

Segundo Hartley e Weiss (1970), o gênero *Euglena*, é capaz de mover-se verticalmente na lagoa e selecionar a profundidade onde a intensidade de luz é mais apropriada durante todo o ciclo diário. Outros gêneros como *Microcystis*, *Oscillatoria* e *Gloeotrichia*, crescem e se reproduzem na superfície da lagoa, distintamente de outros gêneros (Esteves, 1998).

Tabela 2.1 Gêneros de algas presentes em lagoas de estabilização nos trópicos.

Phylum/Gênero	Lagoas Facultativas	Lagoas de Maturação
Cyanophyta		
<i>Oscillatoria</i>	+	+
<i>Anabaena</i>	-	+
<i>Spirulina</i>	-	+
Euglenophyta		
<i>Euglena</i>	+	+
<i>Phacus</i>	+	+
Chlorophyta		
<i>Chlamydomonas</i>	+	+
<i>Chlorogonium</i>	+	+
<i>Pyrobotrys</i>	+	+
<i>Eudorina</i>	+	+
<i>Pandorina</i>	+	+
<i>Scenedesmus</i>	-	+
<i>Volvox</i>	+	+
<i>Dictyosphaerium</i>	-	+
<i>Oocytis</i>	-	+
<i>Ankistrodesmus</i>	-	+
<i>Chlorella</i>	+	+
<i>Micractinium</i>	-	+
<i>Coelastrum</i>	-	+
Bacillariophyta		
<i>Cyclotella</i>	-	+
<i>Navicula</i>	-	+

+ Presença, - Ausência

Fonte. (Modificado de Mara e Pearson, 1986)

Em lagoas de estabilização, particularmente lagoas facultativas, durante as horas mais iluminadas, as algas se movem de cima para baixo e formam uma fina camada de 10 a 15 cm, logo abaixo da termoclina (Mara *et al.*, 1983). König (1984), em estudos realizados com lagoas facultativas primárias, confirmou a ocorrência dessa estratificação de algas e que, entre 12 e 14 h, essa estratificação foi máxima correspondendo a uma maior abundância de algas. De acordo com o mesmo trabalho, são baixas as concentrações de clorofila *a*, ao amanhecer, e, às 8 h, as algas se movimentam em direção à superfície. König (1984), ainda afirma que, as algas nas horas mais iluminadas não predominam em profundidades maiores que 50 cm.

2.7.4 Biomassa de algas (Clorofila *a*)

A biomassa da comunidade fitoplanctônica pode ser estimada pela quantificação da concentração de clorofila *a* sendo essa quantificação tão importante quanto a identificação e a contagem dos gêneros, uma vez que todos estes parâmetros indicam as condições de funcionamento da lagoa e o grau de tratamento alcançado (Mara e Pearson, 1986; König, 1984). A clorofila *a*, é a única forma de pigmento presente em todos os grupos de algas (Guimarães, 1986). A determinação da biomassa é baseada num método simples e rápido cujo objetivo principal é verificar as quantidades de material potencialmente fotossintético no fitoplâncton (Round, 1981). Assim, a medida da clorofila *a* reflete a capacidade fotossintética potencial do fitoplâncton sendo essa determinação considerada suficiente para os monitoramento de rotina (Nusch, 1980).

2.8 Estratificação térmica

Fenômeno que ocorre durante o dia, provocado pela ação direta da energia do sol sobre as camadas mais superficiais das lagoas. Na estratificação térmica,

nas camadas mais superficiais há uma transformação de energia radiante em energia calorífica tornando essas camadas mais quentes do que as camadas inferiores e, conseqüentemente, ficam menos densas do que as camadas mais profundas, impossibilitando uma mistura na massa líquida. Entre estas duas zonas, entre 300 e 500 mm de profundidade, existe uma zona estreita, caracterizada por uma rápida mudança de temperatura, denominada termoclina. Abaixo da termoclina, nas horas mais iluminadas do dia, forma-se uma espessa camada de algas, que fogem das camadas mais quentes, a qual impede a penetração de luz para as camadas inferiores caracterizando o fenômeno do auto-sombreamento (Silva e Mara, 1979).

Não havendo mistura, as algas, principalmente as não flageladas, passam para a zona mais escura das lagoas, e assim não realizam fotossíntese, passando a exercer uma demanda de oxigênio, acentuando o estado de anaerobiose das camadas inferiores. Também, com a ausência de mistura, ocorre que porções do líquido tendem a passar pela lagoa em um tempo de detenção hidráulica menor que o desejável, caracterizando a ocorrência de curto-circuito hidráulico nas lagoas. Outras porções tendem, por outro lado, a permanecer mais tempo que a detenção hidráulica projetada contribuindo para a formação de zonas estagnadas.

Segundo Sless (1974) *apud* Guimarães (1986) a estratificação térmica contribui para elevar o pH na zona fótica e também eleva as perdas de oxigênio dissolvido para a atmosfera devido a supersaturação.

A ação dos ventos sobre a superfície das lagoas é de grande importância pois diminui a estratificação térmica, provocando uma melhor distribuição do oxigênio dissolvido, produzido nas camadas superficiais, e também uniformiza a temperatura das lagoas.

Durante o período da noite, a temperatura do ar tende a ser menor que as camadas superiores das lagoas. Neste período, estas camadas começam a perder calor rapidamente tornando mais densas, e logo afundam, provocando a mistura na massa líquida. Moreno *et al.*, (1984) afirmam que, lagoas com grandes profundidades (> 4.5 m) tendem a apresentar um ciclo de estratificação térmica e

mistura bastante particular no qual a mistura tende a ser prejudicada o que interfere na distribuição de nutrientes e oxigênio em toda massa líquida da lagoa.

2.9 pH

Em lagoas facultativas e de maturação, devido ao processo de fotossíntese, o pH sofre importantes variações nas camadas superiores, causadas pela remoção de gás carbônico feita pelo fitoplâncton durante a fotossíntese. Durante o dia, nas horas de maior incidência de luz solar, no processo de fotossíntese, as concentrações de gás carbônico diminuem, quando a atividade fotossintética das algas supera a respiração de bactérias, algas e outros microrganismos, existindo um déficit de gás carbônico (Guimarães, 1986). Em consequência disso os íons bicarbonato se dissociam em gás carbônico e íon hidroxila o qual aumenta o pH. À noite, as concentrações de gás carbônico são naturalmente restabelecidas, consequência da predominância da respiração de toda biota contida na lagoa.

Ao longo da profundidade nas lagoas, durante as horas iluminadas, há um decréscimo no pH em consequência de nas camadas inferiores das lagoas não ocorrer o processo de fotossíntese e haver a predominância de degradação anaeróbia da matéria orgânica, que libera o gás carbônico que contribui para diminuir o pH.

2.10 Oxigênio dissolvido

A distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido na massa líquida de uma lagoa fornece informações importantes sobre a atividade bacteriana, a fotossíntese, a estratificação, etc. (Round, 1981). As camadas superiores de lagoas facultativas e de maturação são zonas aeróbias, devido à atividade de fotossíntese do fitoplâncton e por receberem oxigênio por difusão da atmosfera.

A espessura da zona eufótica, na qual pode ocorrer atividade fotossintética com produção de oxigênio, depende da capacidade do meio em atenuar a

radiação subaquática, ocorrendo uma relação inversa da radiação com a turbidez e a cor da água as quais tendem a estar diretamente relacionadas com a carga orgânica. Nas lagoas que apresentam oxigênio dissolvido existe um ponto, ao longo da profundidade, em que a produção de oxigênio é igual ao consumo, exercido pelo próprio fitoplâncton e outros microrganismos, conhecido como oxipausa. Essa oxipausa, à noite, desloca-se para cima e durante o dia tende a deslocar-se para baixo ao longo da profundidade. A penetração da luz incidente numa lagoa determina quanto do volume desta participará na produção de oxigênio. No entanto, devido à presença de material em suspensão, inclusive algas e mesmo material solúvel, a penetração de luz não pode ocorrer além de um determinado limite da profundidade. Logo, quanto maior for a profundidade menor será a produção relativa de oxigênio pela fotossíntese na massa líquida.

2.11 Glicose

2.11.1 Carboidratos

Os carboidratos são substâncias orgânicas produtoras de energia compostas por carbono, hidrogênio e oxigênio, podendo, segundo Lehninger (1982), ser classificados como monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. A glicose ($C_6H_{12}O_6$), o principal representante dos monossacarídeos e o mais abundante na natureza, é um sólido constituído por cristais incolores solúveis em água e de sabor doce. Os oligossacarídeos são carboidratos constituídos por cadeias curtas de monossacarídeos unidos por ligações covalentes; a sacarose é um exemplo de oligossacarídeo, formado por uma molécula de glicose e uma de frutose. Já os carboidratos que são formados por longas cadeias de monossacarídeos, são os polissacarídeos, podendo ser citados como exemplos o amido e a celulose.

Os carboidratos são compostos normalmente presentes em águas residuárias, constituindo entre 25 e 50 % da matéria orgânica de águas

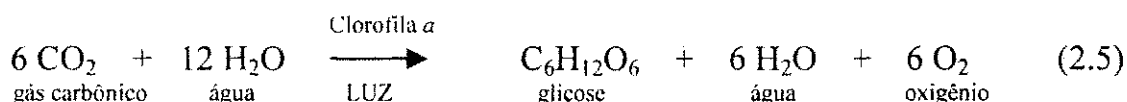
residuárias domésticas (Metcalf e Eddy, 1988), estando presentes nas suas diversas formas, tais como monossacarídeos e polissacarídeos (amido e celulose). Os amidos são polissacarídeos mais estáveis e podem ser convertidos, por hidrólise, em açúcares através de atividade microbiana. Entretanto, a celulose, apresenta uma resistência à decomposição biológica e, por isso, constitui um sério problema para o tratamento das águas residuárias que a contém (Blundi, 1988).

2.11.2 A importância dos carboidratos para os seres vivos

A energia necessária para formar toda a matéria orgânica existente na Terra é proveniente do espaço exterior, mais precisamente do Sol. A energia luminosa do Sol é captada pelas algas e plantas, que a utilizam para fabricar moléculas de glicose. Este açúcar conserva, na forma de energia química, boa parte da energia que foi gasta em sua fabricação.

2.11.3 Glicose e a fotossíntese

No meio aquático, durante as horas mais iluminadas, o processo metabólico de fotossíntese é realizado por cianobactérias, algas e plantas aquáticas que são capazes de transformar substâncias de estruturas simples em material celular mediante a fixação do gás carbônico na presença da energia luminosa (radiação solar) e do pigmento clorofilado, clorofila *a*. O processo fotossintético pode ser expresso pela seguinte equação 2.5 (Stanier *et al.*, 1969).



O gás carbônico é combinado à água, com consumo de energia radiante, para formar o produto final da fotossíntese que é um açúcar, a glicose, e, como

subproduto, o oxigênio molecular que provém da água consumida na reação (Branco, 1986). Plantas, algas e algumas bactérias são os seres vivos que conseguem captar energia luminosa do sol e a sobrevivência de todos os outros organismos depende, direta ou indiretamente, desses seres fotossintetizantes. Nesse processo, a clorofila *a*, pigmento verde, é quem faz a conversão bioquímica de energia da luz solar em energia utilizável para o crescimento e reprodução dos organismos autótrofos fotossintetizantes (Hammer, 1979).

Um animal herbívoro obtém a energia necessária à sua vida comendo plantas. Já um carnívoro, ao usar herbívoros como alimento, obtém, indiretamente, a energia originalmente acumulada na glicose produzida na fotossíntese.

A dependência que os animais têm das plantas nos dá uma medida da importância dos seres fotossintetizantes e dos glicídios para a existência e a manutenção da vida na Terra.

2.11.4 Glicose e respiração

A respiração aeróbia usa o poder oxidante do oxigênio para extrair energia da matéria orgânica. Toda energia luminosa convertida em energia de ligações químicas na molécula de glicose, reação conversora, não é usada de imediato pelos organismos fotossintetizantes. Esse produto é transformado em substâncias de reserva que vão sendo acumuladas até que sejam necessárias às reações metabólicas destes organismos, quando então serão consumidas. Nessa ocasião as ligações químicas de parte das substâncias de reserva serão quebradas pelo processo contínuo de respiração para que seja extraída a energia aí armazenada (Sousa, 1994). O processo de respiração pode ser expresso pela seguinte equação 2.6 (Stanier *et al.*, 1969).



Nas horas iluminadas do ciclo diário as algas tanto produzem oxigênio, na fotossíntese, como o consomem, na sua respiração, liberando dióxido de carbono, sendo, nesse período, a produção de oxigênio fotossintético superior ao consumo do mesmo. À noite, a ausência da luz impede a fotossíntese, restando exclusivamente a respiração passando as algas a exercer um consumo de oxigênio dissolvido na massa líquida (Tejo, 1993). Nesse período, o dióxido de carbono liberado na respiração não é fixado pelas algas o que causa uma queda no pH.

2.12 Produtos extracelulares solúveis

A Figura 2.4 (Moss,1986), mostra um esquema bastante completo do papel desempenhado por substâncias solúveis em corpos aquáticos. O diagrama, apresentado, demonstra as diferentes interações entre essas substâncias e os principais compartimentos do sistema planctônico. Segundo Kuo (1993) citado por Barker e Stuckey (1999), a origem dos produtos solúveis, está ligada a vários fatores como: *i*) equilíbrio de concentração (os organismos excretariam materiais orgânicos solúveis para estabelecer um equilíbrio de concentrações em torno da membrana celular; *ii*) bactérias com necessidade de nutrição, excretam materiais, porque elas tem que obter energia para manutenção, por respiração endógena; *iii*) presença de fonte de energia (a presença de uma concentração aumentada de uma fonte de energia exógena pode estimular a secreção); *iv*) desaparecimento acelerado de substrato (adição súbita de fonte de carbono e energia, as bactérias famintas podem acelerar a morte de algumas bactérias e então, material microbiano solúvel pode ser produzido); *v*) baixa disponibilidade de nutrientes essenciais; *vi*) aliviar o estresse do ambiente (produtos microbianos solúveis são produzidos em resposta ao estresses ambientais, tais como variações bruscas de temperatura e choques osmóticos. Alguns autores também especulam sobre o efeito de substâncias tóxicas; *vii*) crescimento e metabolismo bacterianos normais

(mesmo sob condições e em períodos sem estresses ambientais produtos microbianos solúveis são também produzidos).

Naturalmente que a força dessas interações depende da importância relativa do compartimento planctônico de interesse o qual tem o seu desenvolvimento relacionado aos fatores abióticos da coleção de água. Por exemplo, em lagoas de estabilização, que são ecossistemas aquáticos hipereutróficos, o fitoplâncton parece ocupar um lugar privilegiado e suas interações com as substâncias dissolvidas parecem adquirir uma relevância muito grande.

Assim as relações entre o fitoplâncton e essas substâncias podem ser descritas através de três mecanismos: secreção, assimilação e autólise, sendo que o primeiro e o último representam os mecanismos através dos quais o fitoplâncton lança produtos extracelulares solúveis na massa líquida.

Muito se tem escrito sobre os produtos extracelulares solúveis especialmente porque muitas dessas substâncias têm adquirido grande importância no âmbito do abastecimento de água e da saúde pública, ou porque são tóxicas por si mesmas, ou porque são precursoras de substâncias tóxicas. Há de fato um grande número de trabalhos voltados à análise do caráter dessas últimas principalmente no âmbito da desinfecção de águas de abastecimento devido à formação de trihalometanos.

Embora haja entre os microrganismos a possibilidade da ocorrência de produtos extracelulares particulados, como é o caso de enxofre elementar produzido por bactérias oxidativas fotossintéticas anaeróbias do enxofre (bactérias coloridas do enxofre), a grande maioria desses compostos é constituído por produtos solúveis, especialmente quando são considerados os organismos constituintes do fitoplâncton.

Os produtos extracelulares oriundos de algas ou algogênicos, conforme denominação de Schmidt (1998), são na sua maioria, compostos orgânicos solúveis produzidos (secreção) por algas saudáveis as quais não devem ser

confundidos (Boney, 1975) com substâncias produzidas pela decomposição celular (autólise).

As substâncias solúveis produzidas por algas incluem, segundo Boney (1975), ácidos orgânicos, particularmente ácido glicólico ($\text{CH}_2\text{OH.COOH}$), carboidratos, aminoácidos e peptídeos, vitaminas, enzimas, antibióticos e compostos tóxicos. Barker e Stuckey (1999) acrescentam ainda outras como os ácidos fúlvico, húmico, nucléico, proteínas, esteróides, componentes celulares estruturais e produtos do metabolismo energético. Esses mesmos autores verificaram experimentalmente, em laboratório, que substâncias excretadas por culturas de certas algas eram precursoras de trihalometanos sendo que suas quantidades são variáveis e dependentes do gênero de alga envolvido.

É possível, que para algumas algas, o ácido glicólico, uma das substâncias mais citadas na literatura, seja um fator de equilíbrio que deve ser constituído até uma certa concentração média, antes do crescimento da população poder começar. O desprendimento extracelular de glicolato e outros compostos orgânicos foi bem conhecido (Fogg, 1966 e Watt, 1966 *apud* Reynolds, 1984) antes que o seu significado fosse completamente apreciado.

Segundo Fogg (1975), em laboratório, o gênero *Chlorella* libera relativamente altas concentrações de ácido glicólico. Boney (1975), estudando águas costeiras no Estado de Washington, mediu 1,4 mg/l de ácido glicólico, e segundo Nakamura e Gowans (1964), *apud* Fogg (1975), *Chlamydomonas* libera ácido nicotínico. Outros autores afirmam que algumas algas liberam vitamina B₁₂, sendo que essa taxa de liberação varia com a espécie de alga. Certos produtos extracelulares têm efeitos tóxicos (Fogg, 1975; Barker e Stuckey, 1999), notadamente para outros organismos, sendo que, desde o trabalho de Pratt (1944), muitas outras referências têm, ora enfatizado, ora citado de passagem, esse efeito. Jørgensen (1969) *apud* Fogg (1975), considera as muitas evidências que algumas algas produzem substâncias antibacterianas. Mas, segundo Fogg (1975), produtos extracelulares de certas algas também poderiam neutralizar os efeitos de substâncias tóxicas. Também é provável que, durante a inibição do

processo de fotossíntese, alguns tipos de algas não liberem produtos extracelulares e cresçam na escuridão, tendo como fonte exclusiva de carbono a glicose, sem no entanto superar a taxa (k) de crescimento da população em condições de saturação de luz. O mesmo Fogg (1975), afirma que quando as algas são expostas a níveis de saturação de luz seu crescimento atinge um determinado valor k , que não aumenta com a presença de glicose como substrato.

As substâncias solúveis secretadas por algas assumem grande importância, porque representam uma demanda de oxigênio do meio aquático, estando essa contribuição incluída nas medidas de DQO e DBO das amostras provenientes destes corpos águas. Naturalmente que as medidas de DQO e DBO de amostras filtradas tendeu a representar parâmetros mais próprios para relacionar com a presença de substâncias solúveis excretadas por algas. Também a medida de glicose pode ser bastante representativa da presença de carboidratos eliminados pelo fitoplâncton.

Na prática da Engenharia Sanitária pode ser facilmente presumida a presença dessas substâncias nos efluentes de sistemas de tratamento biológico de esgotos especialmente aqueles nos quais as algas podem proliferar em altas concentrações como é o caso de lagoas de estabilização, embora essa secreção não ocorra obrigatoriamente de forma contínua (de Oliveira, 1990). Segundo Branco (1986), isso seria favorecido em condições adequadas á fotossíntese (luz e temperatura), particularmente em sistemas com tempos de detenção hidráulica superiores a 6 dias.

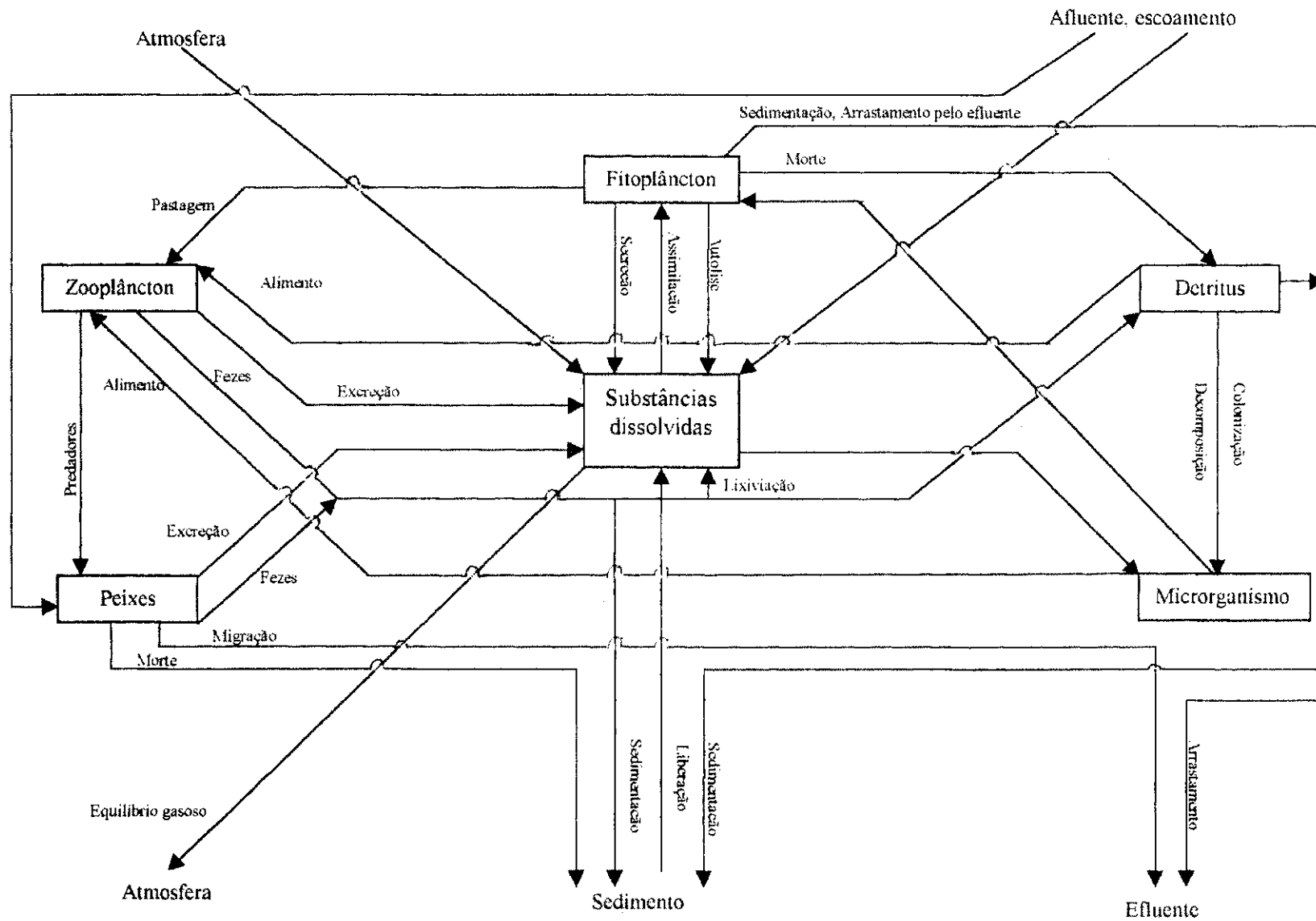


Figura 2.4 As diferentes interações entre substâncias dissolvidas e os principais compartimentos do sistema planctônico (Moss, 1986).

Capítulo 3

3. Materiais e métodos

3.1 – Descrição dos sistemas experimentais

A pesquisa foi realizada em dois sistemas experimentais (1 e 2) de lagoas profundas, em escala-piloto, instalados nas dependências da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários da Universidade Federal da Paraíba (EXTRABES-UFPB), na cidade de Campina Grande – PB (7° 13' 11" Sul, 35° 52' 31" Oeste, a 550 m acima do nível do mar). Todas as lagoas, nos dois sistemas foram construídas em alvenaria de tijolos sobre uma base de concreto simples sendo as paredes verticais e o fundo revestidos com argamassa de cimento e areia.

O sistema experimental 1 era constituído de 4 (quatro) lagoas facultativas primárias profundas, denominadas F27, F28, F29 e F30. O sistema experimental 2 era formado por uma série de cinco lagoas profundas sendo a primeira anaeróbia (A1), seguida de uma facultativa secundária (F1) e três de maturação (M1, M2 e M3).

As unidades estudadas neste trabalho foram, no sistema experimental 1, a lagoa F29 (Figura 3.1) e todas do sistema experimental 2 (Figura 3.2). A Tabela 3.1, apresenta as características físicas da lagoa F29, a qual era composta de três canais (I, II e III), cujas características físicas são mostradas na Tabela 3.2, sendo os mesmos formados por duas chicanas longitudinais (i e ii), paralelas, do tipo vai-e-vem, com as características físicas mostradas na Tabela 3.3.

As características físicas das cinco lagoas do sistema experimental 2, são iguais, tendo cada uma comprimento de 10,0 m, largura de 3,35 m,

proporcionando uma área superficial de 33,5 m², e profundidade de 2,20 m que dá a cada lagoa um volume de 73,7 m³. A segunda (F1) e a quarta (M2) lagoas eram compostas de três canais (I, II e III), formados por duas chicanas longitudinais paralelas (i e ii), sendo as características físicas desses canais e das chicanas apresentadas, respectivamente nas Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.1 – Características físicas da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Lagoa</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Largura (m)</i>	<i>Profundidade (m)</i>	<i>Área superficial (m²)</i>	<i>Volume (m³)</i>
<i>F29</i>	25,5	7,2	2,3	183,6	422,3

Tabela 3.2 – Características físicas dos canais da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Canal</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Largura (m)</i>	<i>Profundidade (m)</i>	<i>Área superficial (m²)</i>	<i>Volume (m³)</i>
<i>I</i>	25,5	2,33	2,3	59,4	136,7
<i>II</i>	25,5	2,33	2,3	59,4	136,7
<i>III</i>	25,5	2,33	2,3	59,4	136,7

Tabela 3.3 – Características físicas das chicanas da lagoa F29 do sistema experimental 1 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Dimensões (m)</i>	<i>Chicanas</i>	
	<i>i</i>	<i>ii</i>
<i>Espessura</i>	0,08	0,09
<i>Comprimento</i>	22,90	23,00

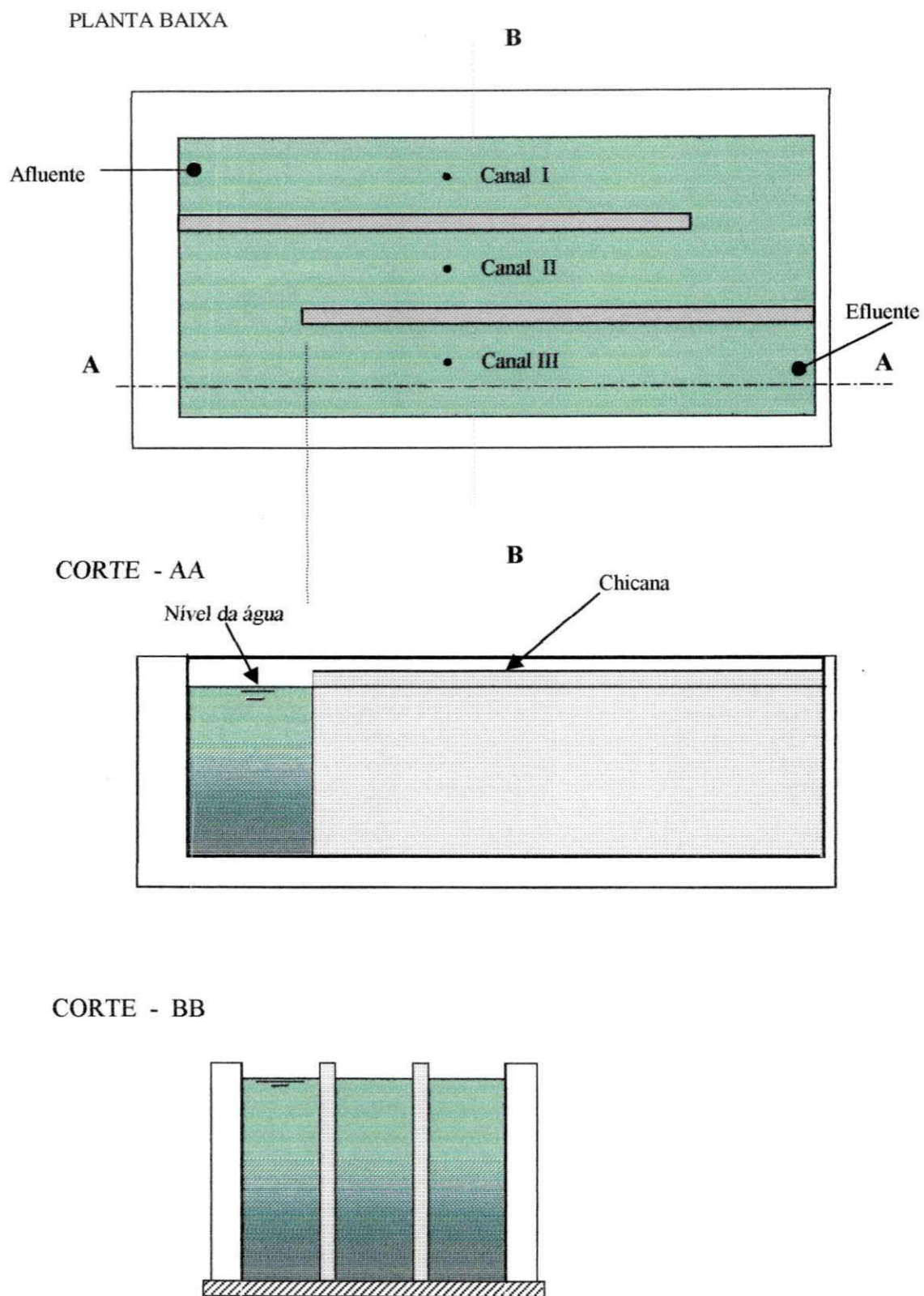


Figura 3.1 – Desenho esquemático do sistema experimental 1 (F29), investigada neste trabalho, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

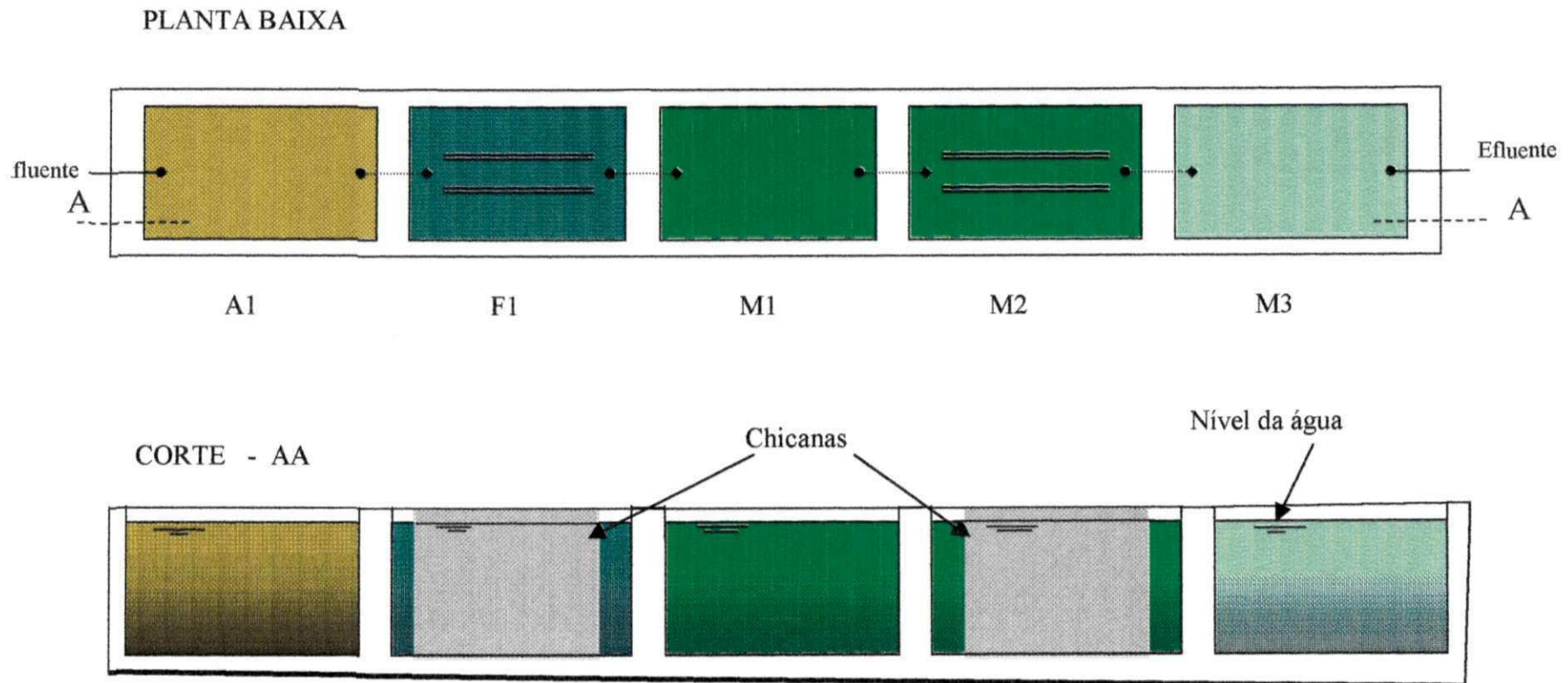


Figura 3.2 – Desenho esquemático do sistema experimental 2 (série), investigado neste trabalho, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

Tabela 3.4 – Características físicas dos canais longitudinais das lagoas F1 e M2 do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Canal</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Largura (m)</i>	<i>Profundidade (m)</i>	<i>Área superficial (m²)</i>	<i>Volume (m³)</i>
<i>I</i>	10,0	1,05	2,20	10,5	23,1
<i>II</i>	10,0	1,05	2,20	10,5	23,1
<i>III</i>	10,0	1,05	2,20	10,5	23,1

Tabela 3.5 – Características físicas das chicanas das lagoas F1 e M2 do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Dimensões (m)</i>	<i>Chicanas</i>	
	<i>i</i>	<i>ii</i>
<i>Espessura</i>	0,09	0,09
<i>Comprimento</i>	8,00	8,00

3.2 Alimentação dos sistemas experimentais

A lagoa F29, do sistema experimental 1 e a lagoa anaeróbia (A1) do sistema experimental 2 foram alimentadas com água residuária bruta, predominantemente doméstica, do sistema coleta de esgotos da cidade de Campina Grande (PB), captada de um dos seus interceptores (Interceptor Leste ou “da Depuradora”). A Figura 3.3 ilustra o sistema de alimentação das lagoas. O esgoto era bombeado de um poço úmido (6), adjacente a um dos poços de visita do interceptor, para o tanque de nível constante TNC (5), detalhado na Figura 3.4, situado no interior da casa de bombas (4) (Figura 3.5), sendo, para isso, utilizada uma bomba submersível de 1,2 Hp. Do TNC, o esgoto era bombeado para o interior da lagoa F29 a uma taxa de 28 m³/dia através de uma bomba peristáltica de velocidade variável NETZSCH (modelo NE 30A). Para a primeira lagoa (A1) do sistema experimental 2, o bombeamento era feito por uma outra

bomba peristáltica de velocidade variável WATSON – MARLOW (tipo HRSV) de velocidade variável a uma taxa de 12.28 m³/dia .

A alimentação da lagoa F29 era feita com a descarga da totalidade da vazão, através de um tubo de 75 mm localizado no centro da extensão transversal da primeira região do canal a 0,50 m do piso, fazendo com que o fluxo hidráulico, que ocorria de montante para jusante, também ocorresse de baixo para cima.

Na primeira lagoa (A1) da série, a descarga era feita através de tubo de 75 mm localizado no centro da extensão frontal da lagoa a 0,50 m do piso e as características de fluxo eram similares às do fluxo da lagoa F29. A alimentação das outras unidades da série era feita com o efluente da lagoa precedente, através de dispositivos de intercomunicação constituídos por tubos e conexões de PVC rígido de 75 mm, sendo o líquido descarregado a 0,50 m acima do fundo junto à parede frontal de cada reator.

O efluente de cada lagoa, em ambos os sistemas experimentais, era coletado de um nível situado a 50 mm abaixo do nível de água, através de canalização drenante de 75 mm, envolvida por retentor de espuma, de PVC, com diâmetro e altura de 200 mm (Figura 3.6), sendo este o dispositivo que, pela sua submersão (50 mm), controlava o nível de drenagem do efluente.

3.2.1 Operação dos sistemas experimentais

A Tabela 3.6 mostra as características operacionais da lagoa F29.

Tabela 3.6 – Características operacionais da lagoa F29 do sistema experimental I localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Lagoa</i>	<i>Vazão (m³/dia)</i>	<i>Tempo de d. hidráulica (dia)</i>	<i>*Carga superficial (kg DBO₅/ha dia)</i>	<i>Carga volumétrica(gDBO₅/m³.d)</i>
F29	28	15	330	14,4

*Supondo a DBO₅ do esgoto bruto afluente igual a 216 mg/l (Silva, 1999).

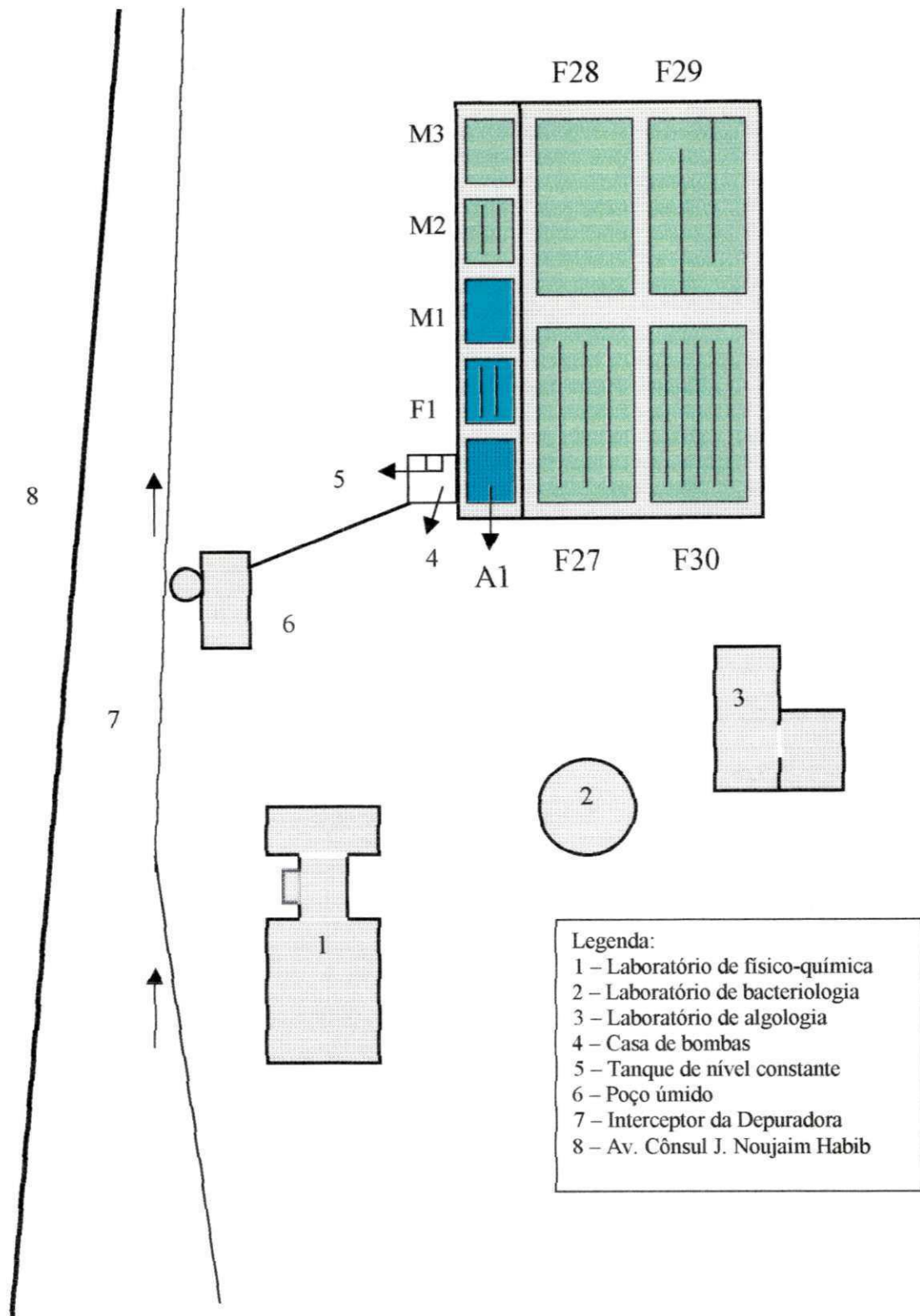


Figura 3.3 – Planta de situação dos sistemas experimentais em escala-piloto, localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

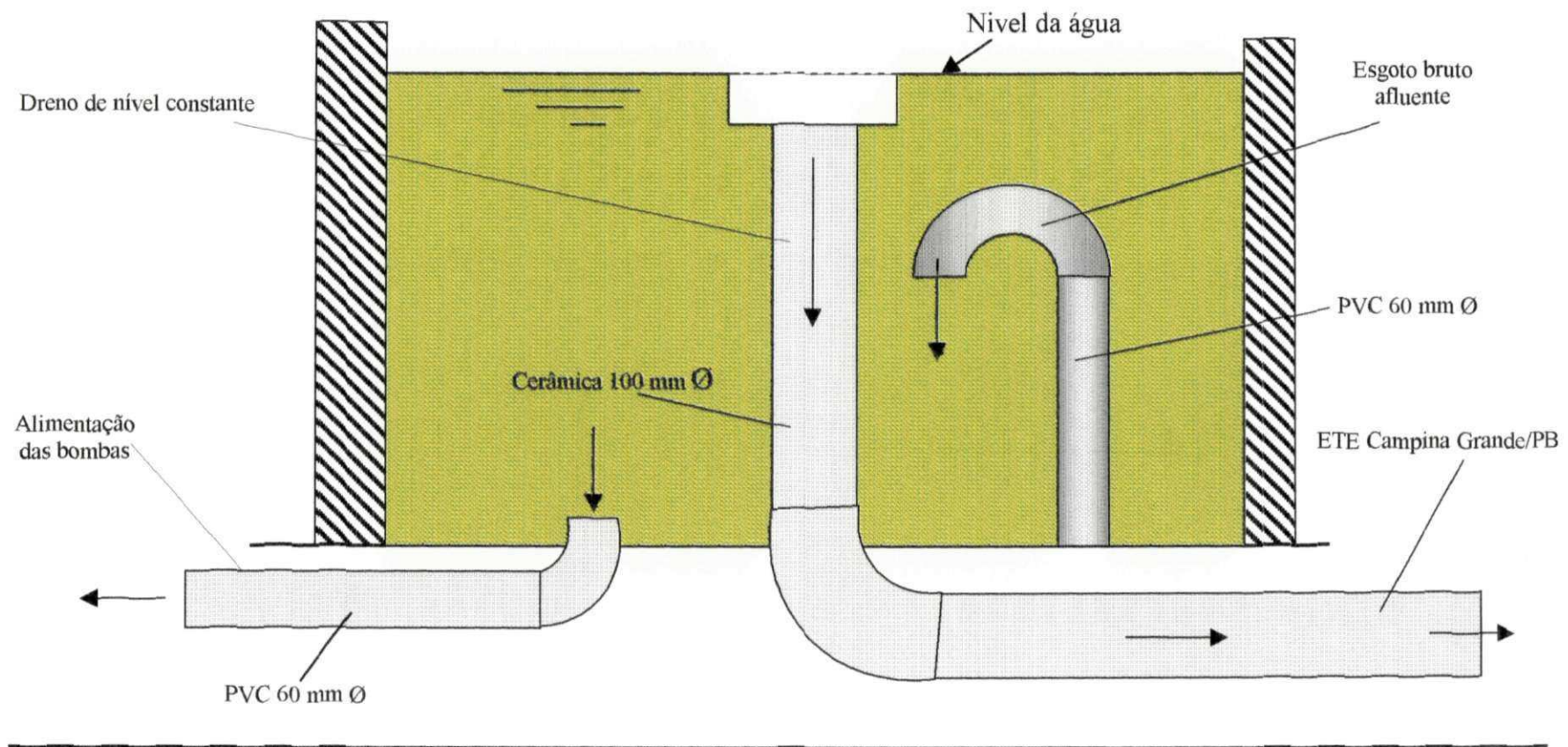


Figura 3.4 – Detalhe do tanque de nível constante (TNC), localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

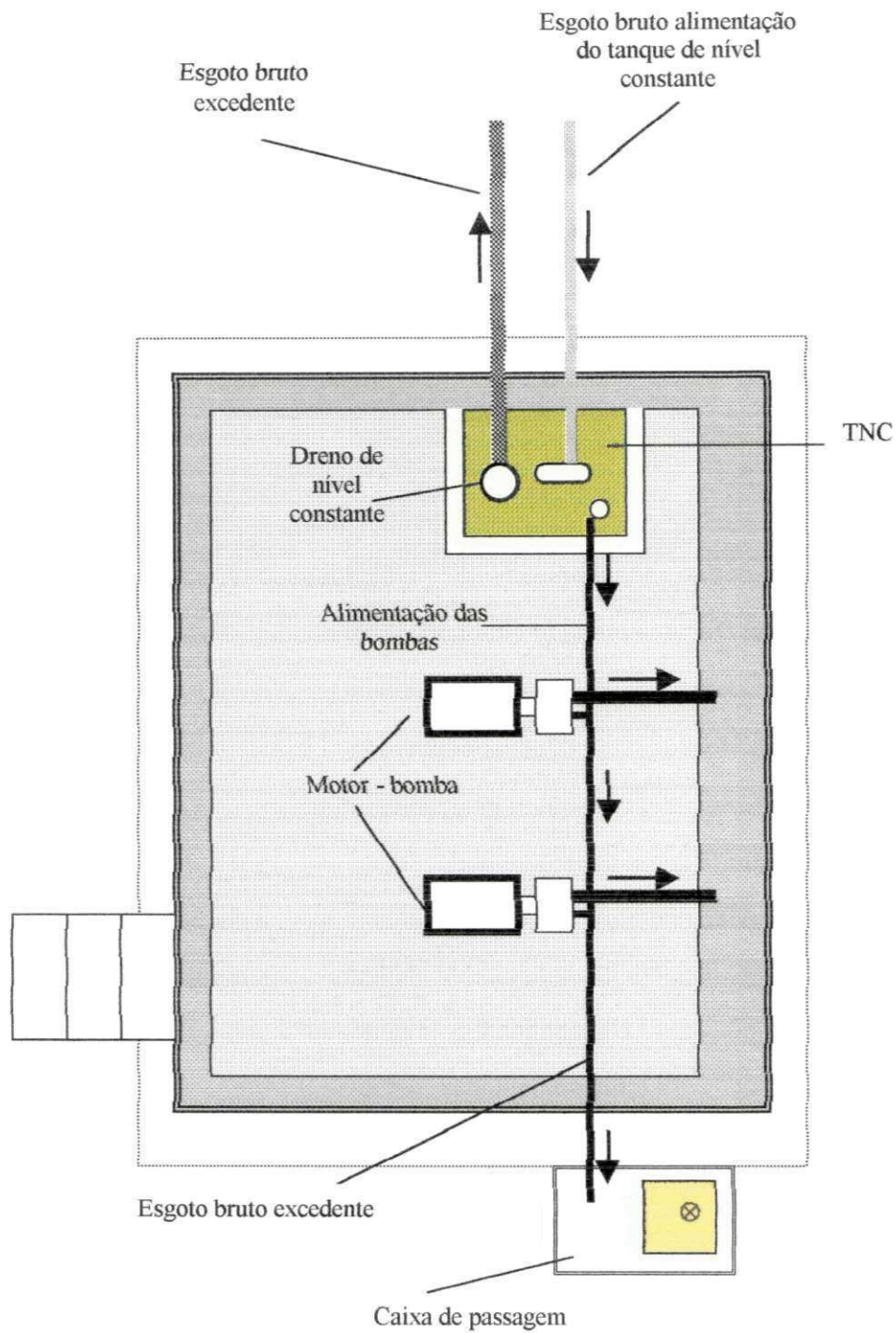


Figura 3.5 – Planta baixa da casa de bombas localizada na EXTRABES – Campina Grande - PB.

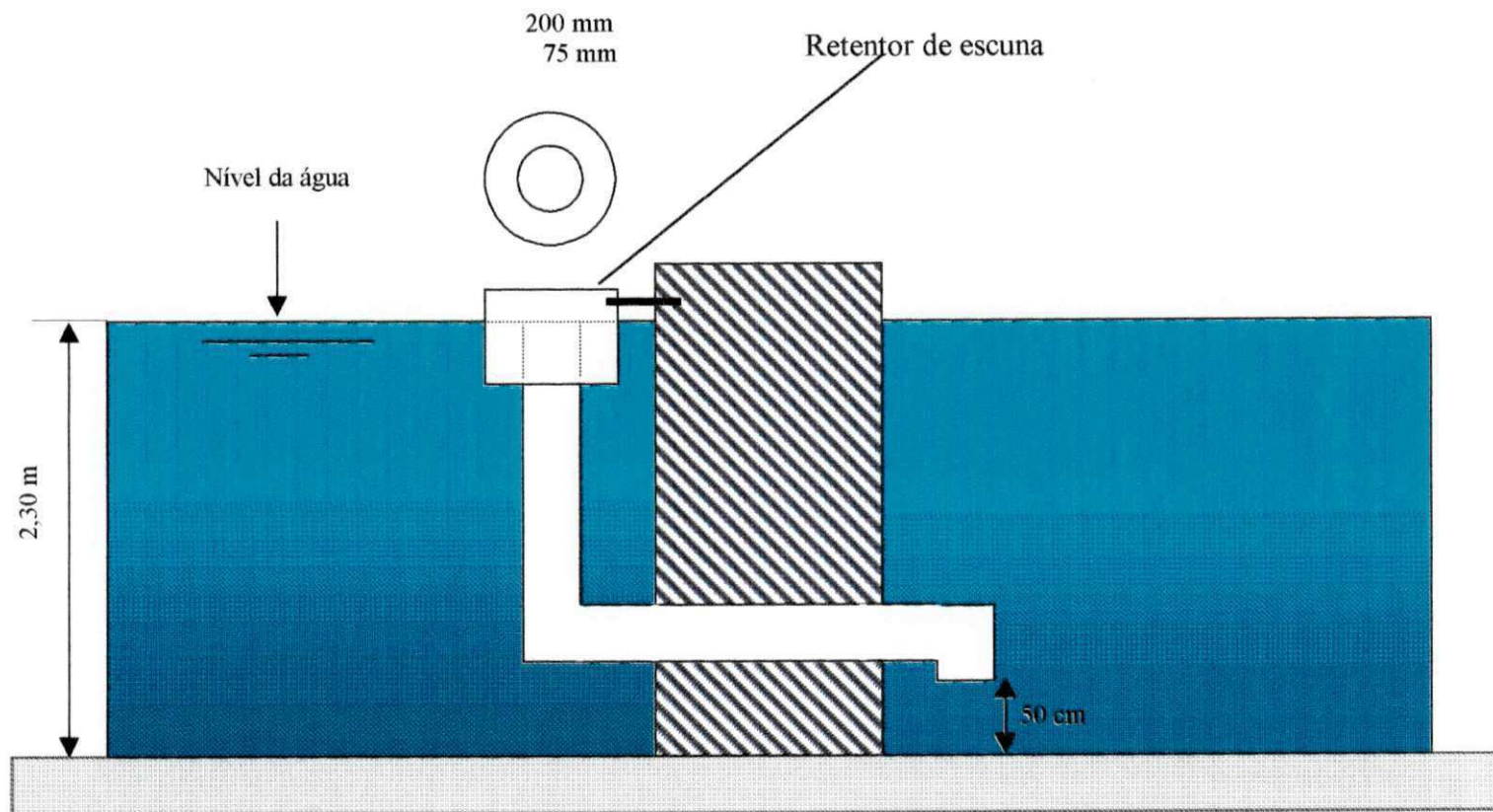


Figura 3.2.4 – Detalhe do dispositivo de intercomunicação entre lagoas e do retentor de espuma.

A Tabela 3.7 mostra as características operacionais da série das 5 lagoas.

Tabela 3.7 – Características operacionais da série das 5 lagoas do sistema experimental 2 localizado na EXTRABES – Campina Grande - PB.

<i>Lagoa</i>	<i>Vazão (m³/dia)</i>	<i>Tempo de d. hidráulica (dia)</i>	<i>*Carga superficial (kg DBO₅/ha.d)</i>	<i>Carga volumétrica(gDBO₅/m³.d)</i>
<i>A1</i>	12,28	6	792	36
<i>F1</i>	12,28	6	-	-
<i>M1</i>	12,28	6	-	-
<i>M2</i>	12,28	6	-	-
<i>M3</i>	12,28	6	-	-

*Supondo a DBO₅ do esgoto bruto afluente igual a 216 mg/l (Silva, 1999).

3.3 Metodologia de amostragem

3.3.1 Período e frequência

Foram feitas coletas, aproximadamente uma vez a cada 10 dias, nos dois sistemas experimentais, sendo duas vezes ao dia, às 6 h 30 min e às 13 h 30 min, no período de 17 de março a 27 de outubro de 2000.

3.3.2 Metodologia de coleta

No sistema experimental 1, as amostras eram coletadas na lagoa F29, em três pontos (1, 3 e 5), indicados na Figura 3.7, ao longo da superfície da lagoa e em duas profundidades diferentes (5 e 200 cm) incluindo ainda amostras do afluente (esgoto bruto no TNC) e efluente (na canalização de saída).

Para o sistema experimental 2 foram coletadas amostras dos efluentes das lagoas da série. E ainda, amostras do afluente (esgoto bruto no TNC) e efluente (na canalização de saída).

3.3.3 Procedimento de coleta

Para a coleta das amostras na lagoa F29 era utilizada uma bomba peristáltica de velocidade variável conectada a uma mangueira de polietileno, com 12 mm de diâmetro e cerca de 17 m de comprimento, cuja extremidade era acoplada a um pesado dispositivo de coleta, constituído de duas placas circulares de PVC rígido com 25 cm de diâmetro, dispostas em paralelo, distando 5 cm uma da outra, conectadas a um pequeno tubo provido de orifícios de coleta. O conjunto mangueira e amostrador era introduzido perpendicularmente na coluna líquida até o nível de amostragem. Antes de cada coleta, era dada uma descarga de aproximadamente 2 minutos, com a finalidade de esgotar todo o líquido remanescente da coleta anterior.

No momento da amostragem para a determinação de oxigênio dissolvido (OD), o líquido era coletado diretamente no frasco de medição, sendo tomados todos os cuidados para evitar a turbulência das amostras.

Para efeito de melhor descrição dos pontos e níveis de coleta na lagoa F29 foi atribuída a notação:

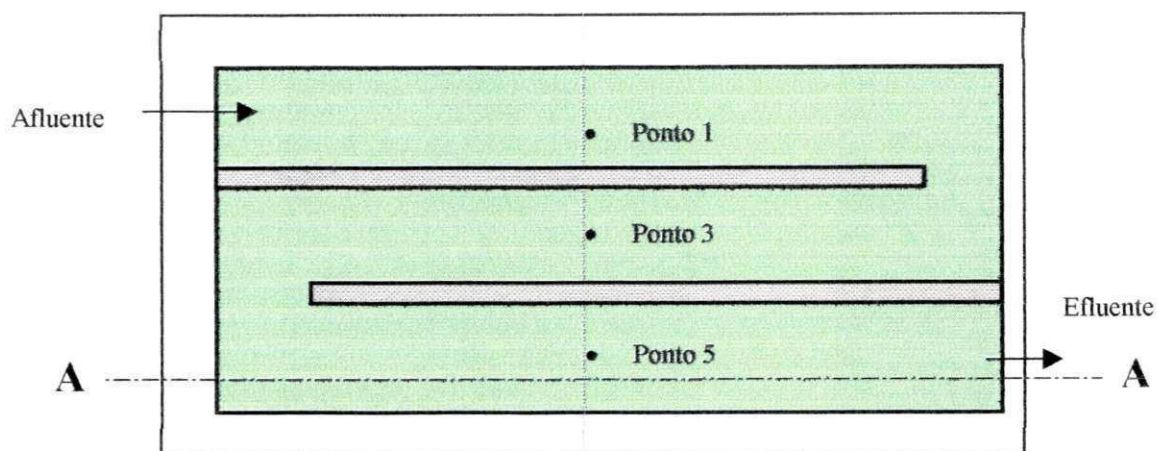
1a. lê-se: ponto 1 no nível 5 cm;

3b. lê-se: ponto 3 no nível 200 cm;

5a, lê-se: ponto 5 no nível 5 cm e assim por diante.

Para o sistema experimental 2 a coleta era manual, feita diretamente no tubo de drenagem do efluente das lagoas, pela introdução de um recipiente plástico de diâmetro inferior, sendo o líquido coletado transferido para um balde plástico.

PLANTA BAIXA



CORTE - AA

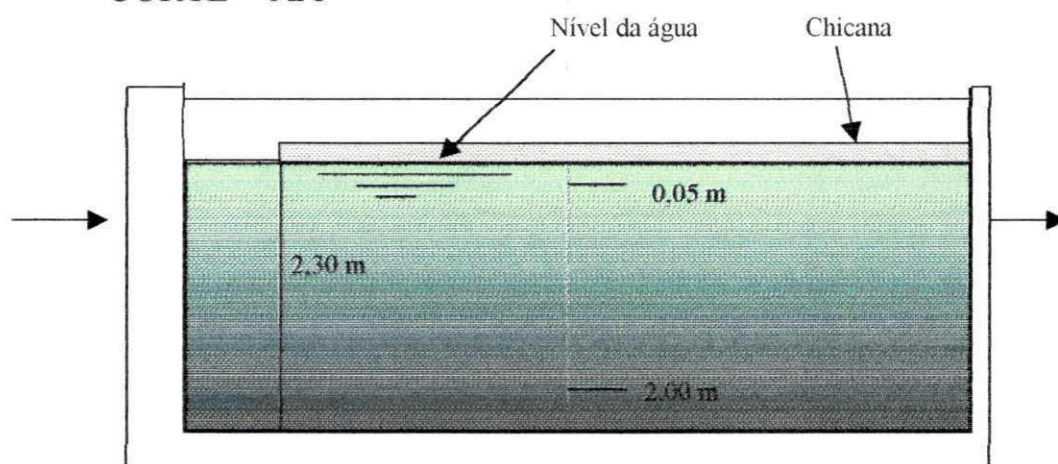


Figura 3.7 - Demarcação dos pontos (1, 3 e 5) e dos níveis (5 e 200 cm) de coleta na lagoa facultativa F29, localizada na EXTRABES – Campina Grande - PB.

3.3.4 Análise de amostras

Após a coleta, as amostras eram encaminhadas para as análises nas dependências dos laboratórios da EXTRABES-UFPB, Campina Grande - PB. As análises físico-químicas eram realizadas num prazo inferior a quatro horas. A identificação e a contagem de algas eram realizadas num prazo de dois dias e a estimativa da clorofila *a* em até 24 h.

3.4 Parâmetros físico-químicos

Com exceção de dois parâmetros, a clorofila *a* e a glicose, todos os parâmetros analíticos foram determinados de acordo com as recomendações descritas em APHA *et al.* (1992).

3.4.1 pH

As medidas de pH foram determinadas pelo método potenciométrico, através de um medidor JENWAY modelo 3030, com eletrodo combinado RUSSEL BNC e um compensador de temperatura JENWAY PCT 121.

3.4.2 Oxigênio dissolvido (OD)

As concentrações de OD foram determinadas através de um medidor de oxigênio YSI, modelo 54A, com eletrodo de membrana seletiva YSI, modelo 5730A.

3.4.3 Temperatura

A temperatura foi determinada durante a coleta das amostras utilizando-se um termômetro de filamento de mercúrio.

3.4.4 Glicose – carboidrato expresso como glicose

A concentração de glicose foi determinada pela técnica descrita por Dubois *et al.*(1956) que consiste na reação com fenol em meio fortemente ácido, seguida de leituras de absorvância a 490 nm (padrão para glicose). O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro Pharmacia LKB-NOVASPEC II.

3.4.5 $DQO_{(Bruta)}$

A $DQO_{(Bruta)}$ foi determinada pelo método da refluxação fechada do dicromato de potássio, usando bloco de digestão modelo GRANT tipo BT5, sendo o dicromato remanescente medido titulometricamente através da reação com solução de sulfato ferroso amoniacal em meio ácido.

3.4.6 $DQO_{(Filtrada)}$

A $DQO_{(Filtrada)}$ foi determinada, em amostras filtradas através de papel de filtro de fibra de vidro Whatman GF/C, pelo método da refluxação fechada do dicromato de potássio, usando bloco de digestão modelo GRANT tipo BT5, sendo o dicromato remanescente medido titulometricamente através da reação com solução de sulfato ferroso amoniacal em meio ácido.

3.4.7 DBO₅(Bruta)

A DBO₅(Bruta) foi estimada pelo método da diluição em frascos padrões, com as medidas de OD sendo feitas com um medidor de oxigênio YSI, modelo 54A, com eletrodo de membrana seletiva YSI, modelo 5730A.

3.4.8 DBO₅(Filtrada)

A DBO₅(Filtrada) foi estimada, em amostras filtradas através de papel de filtro de fibra de vidro Whatman GF/C, pelo método da diluição em frascos padrões, com as medidas de OD sendo feitas com um medidor de oxigênio YSI, modelo 54A, com eletrodo de membrana seletiva YSI, modelo 5730A.

3.5 Parâmetros algológicos

3.5.1 Biomassa de algas (Clorofila *a*)

A concentração de clorofila *a* foi determinada pela técnica descrita por Jones (1979) que consiste na extração com metanol 100 %, a quente, seguida de leituras de absorbância a 665 e 750 nm. O equipamento utilizado para essas medidas foi um espectrofotômetro Pharmacia LKB-NOVASPEC II.

3.5.2 Identificação e contagem de algas

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

As amostras para contagem de algas eram preparadas seguindo a seqüência:

- coletar 1l de amostra bruta homogênea;
- reduzir para 250 ml;
- adicionar 2,5 ml de formaldeído a 35 % e preservar por 48 h;
- retirar o sobrenadante, reduzindo para 10 ml o material concentrado e homogeneizado;
- colocar 2 gotas dos 10 ml do material, uma em cada um dos retículos da câmara de Neubauer;
- cobrir com lamínula;
- examinar no microscópio óptico com 100 x ou 400x;
- contar os indivíduos em todo o campo do retículo.

Todas as contagens realizadas eram feitas em duplicatas e expressa em UPC x 10²/ml, visto que os organismos podem ser apresentados como: unicelular, filamentos ou colônia.

As amostras para identificação eram preparadas seguindo a seqüência:

- coletar 1l de amostra bruta homogênea;
- reduzir para 250 ml por decantação;
- após 30 minutos, retirar o material concentrado do fundo do frasco com auxílio de uma pipeta e colocar 1 gota entre lâmina e lamínula;
- examinar em microscópio óptico com aumento de 100x ou 400x.

Os gêneros de algas foram identificados com auxílio de chaves dicotômicas de Bicudo e Bicudo (1970).

Capítulo 4

4. Apresentação e análise dos resultados da lagoa F29

4.1 Análise estatística descritiva dos resultados da lagoa F29

Nesta secção é apresentada a análise dos dados relativos às coletas feitas no período de 17/03 a 27/10/2000, às 6 h 30 min e às 13 h 30 min, em três pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (5 cm e 200 cm) na massa líquida da lagoa facultativa primária F29, no sistema experimental 1.

4.1.1 Identificação do fitoplâncton

Com base nos dados de identificação do fitoplâncton em 12 experimentos levados a efeito na massa líquida da lagoa F29 foi possível verificar que dois gêneros de algas, *Euglena* e *Chlamydomonas*, foram predominantes. Considerando que em cada período do ciclo diário eram coletadas 6 amostras da massa líquida em cada data de coleta, isto significa que, ao longo do período experimental, foram analisadas 72 amostras representativas do período da manhã e 72 amostras do período da tarde. Pela manhã, *Chlamydomonas*, apareceu em 72 amostras e *Euglena* em 66 e à tarde as freqüências foram de 71 e 69, respectivamente. *Pyrobotrys* apareceu em 22 amostras pela manhã (13 no nível 5 cm e 9 no nível 200 cm) e em 4 amostras à tarde, sempre no nível mais superficial. As freqüências para *Scenedesmus* foram 4 e 2 para os níveis 5 e 200 cm, pela manhã e 6 e 5, para o período da tarde, respectivamente. *Diatoma* não apareceu, na massa líquida, pela manhã e à tarde suas freqüências foram de, respectivamente, 6 no nível mais superficial e 2 no nível mais profundo. *Oscillatoria* (cianobactéria) apareceu, pela manhã, em 4 amostras no nível 5 cm e

em 6 no nível 200 cm, enquanto que à tarde a frequência foi de 9, sempre na superfície. No período de 23/08 a 27/10/2000 caracterizado por maior insolação, particularmente à tarde, apareceram, em praticamente todas as amostras (30 pela manhã e 30 à tarde) da massa líquida, numerosas células esverdeadas de pequeno diâmetro, com movimento tipicamente browniano que, examinadas mais detalhadamente no Laboratório de Saneamento da AESA/DEC/CCT/UFPB, apresentaram características da cianobactéria *Synechocystis*, as quais podem ter contribuído significativamente para a concentração de clorofila *a*.

As Figuras 4.1 a 4.6 ilustram as frequências de aparecimento (%) dos gêneros de algas e cianobactérias nos distintos pontos de amostragem da massa líquida da lagoa F29, sendo que as Figuras 4.1 e 4.2 referem – se respectivamente aos turnos manhã (6 h 30 min) e tarde (13 h 30 min) no período de 17/03 a 02/06/2000, as Figuras 4.3 e 4.4 ao período de 23/08 a 27/10/2000 e as Figuras 4.5 e 4.6 ao período de amostragem compreendido como um todo (de 17/03 a 27/10/2000).

A identificação de gêneros no efluente refletiu, nos dois turnos, as respectivas frequências percentuais de aparecimento encontradas para a massa líquida, indicando que, do ponto de vista da diversidade do fitoplâncton, em uma lagoa facultativa primária provida de chicanas, em escala-piloto, a amostragem do efluente pode ser tão significativa quanto a de pontos distintos da massa líquida.

4.1.2 Contagem de organismos do fitoplâncton

Na massa líquida da lagoa F29 foram encontrados organismos do fitoplâncton dos Phyla Euglenophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta e Cyanophyta, durante todo o período experimental, com predominância dos gêneros *Euglena* e *Chlamydomonas*. Como já foi observado na análise dos dados

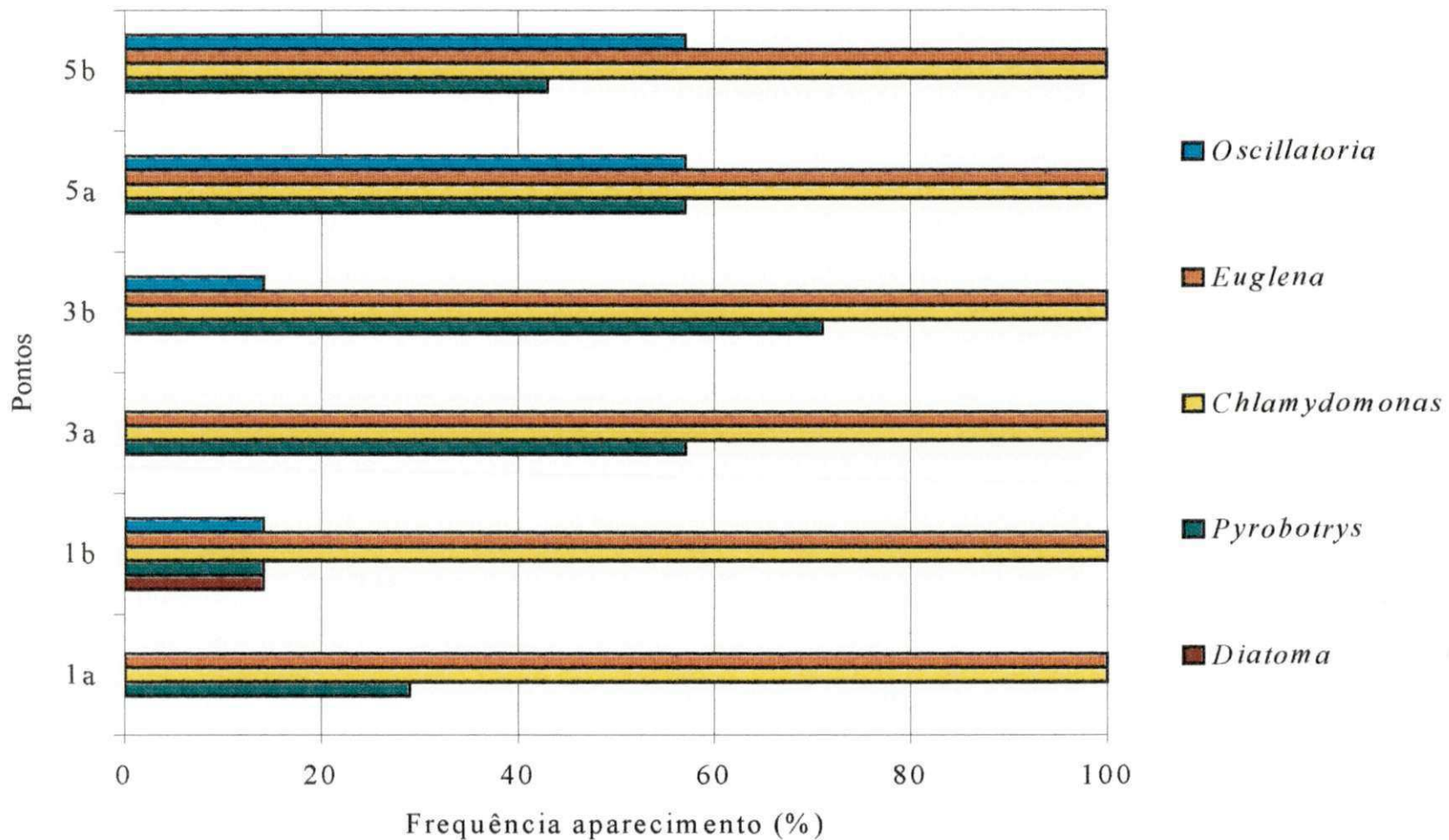


Figura 4.1 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 02/06/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.

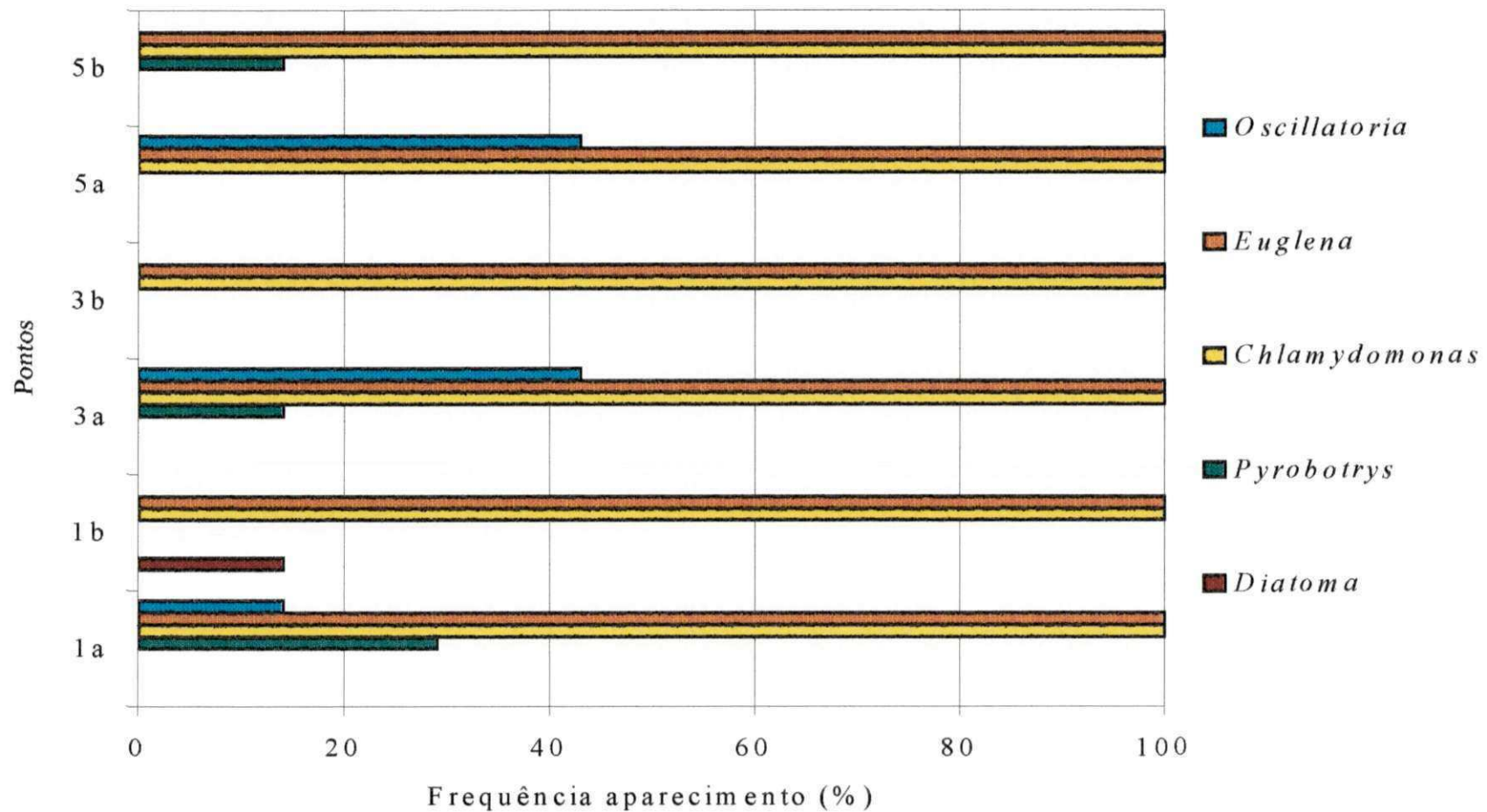


Figura 4.2 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 02/06/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde às 13 h 30 min.

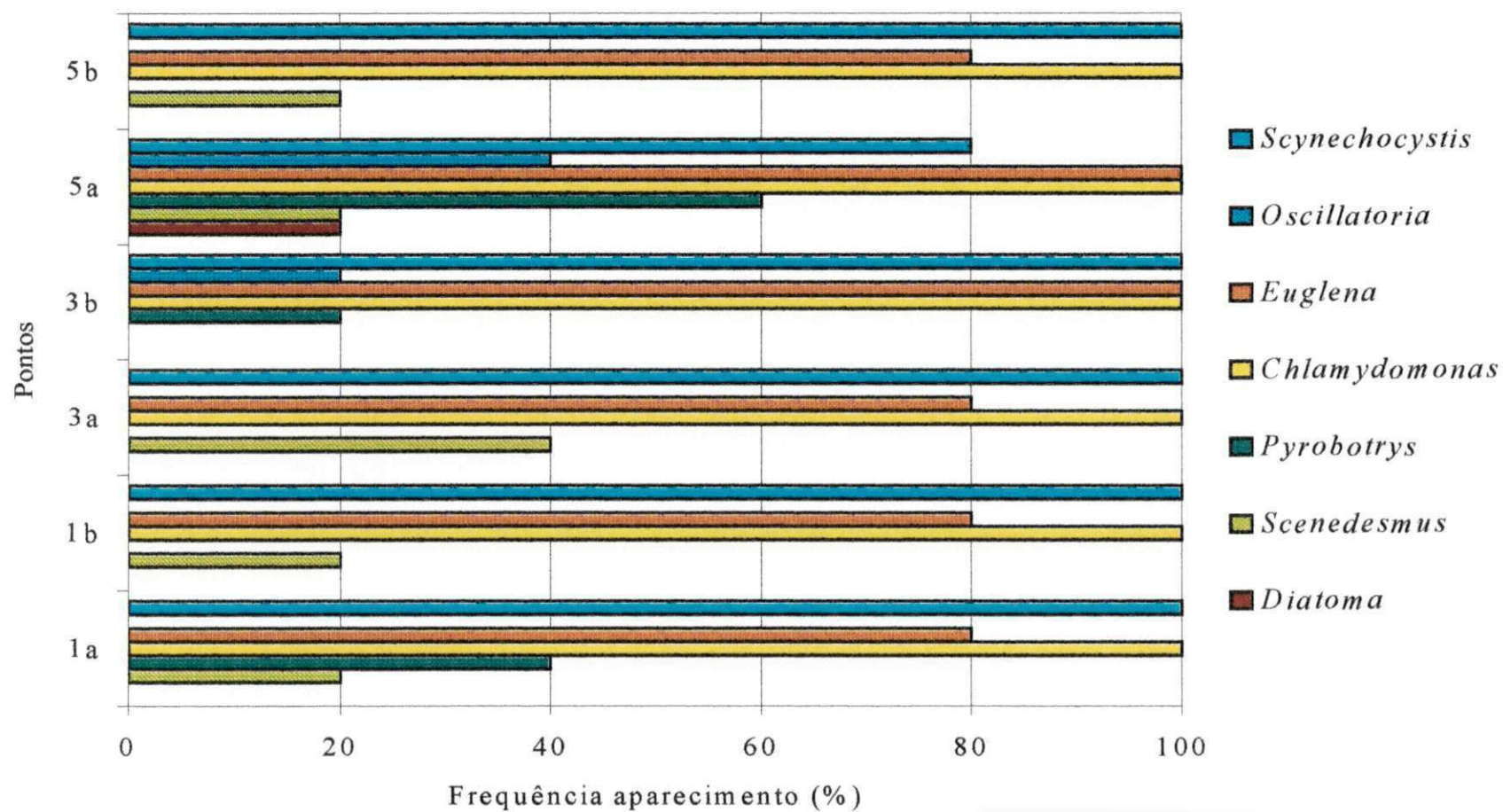


Figura 4.3 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 23/08 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.

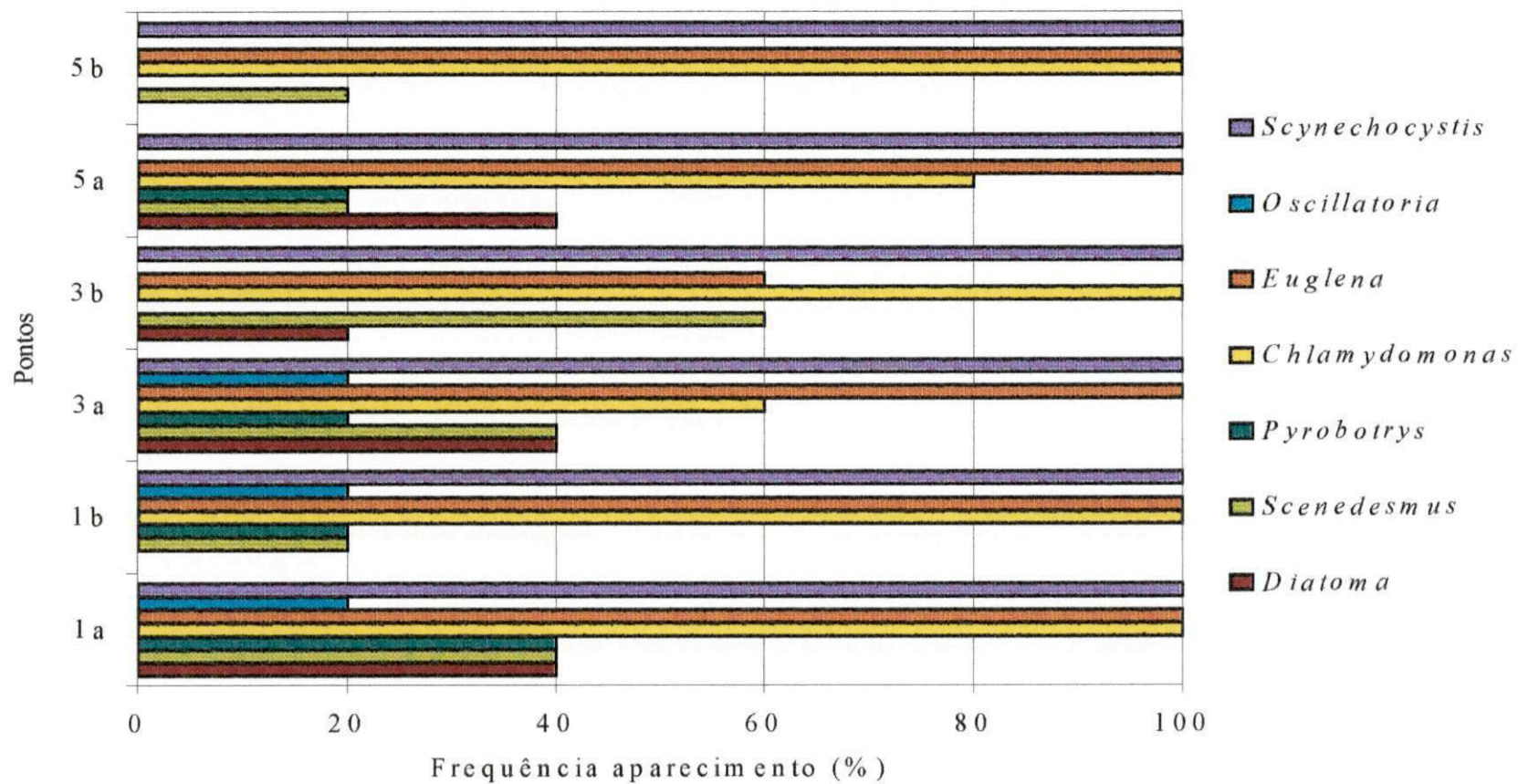


Figura 4.4 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 23/08 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde às 13 h 30 min.

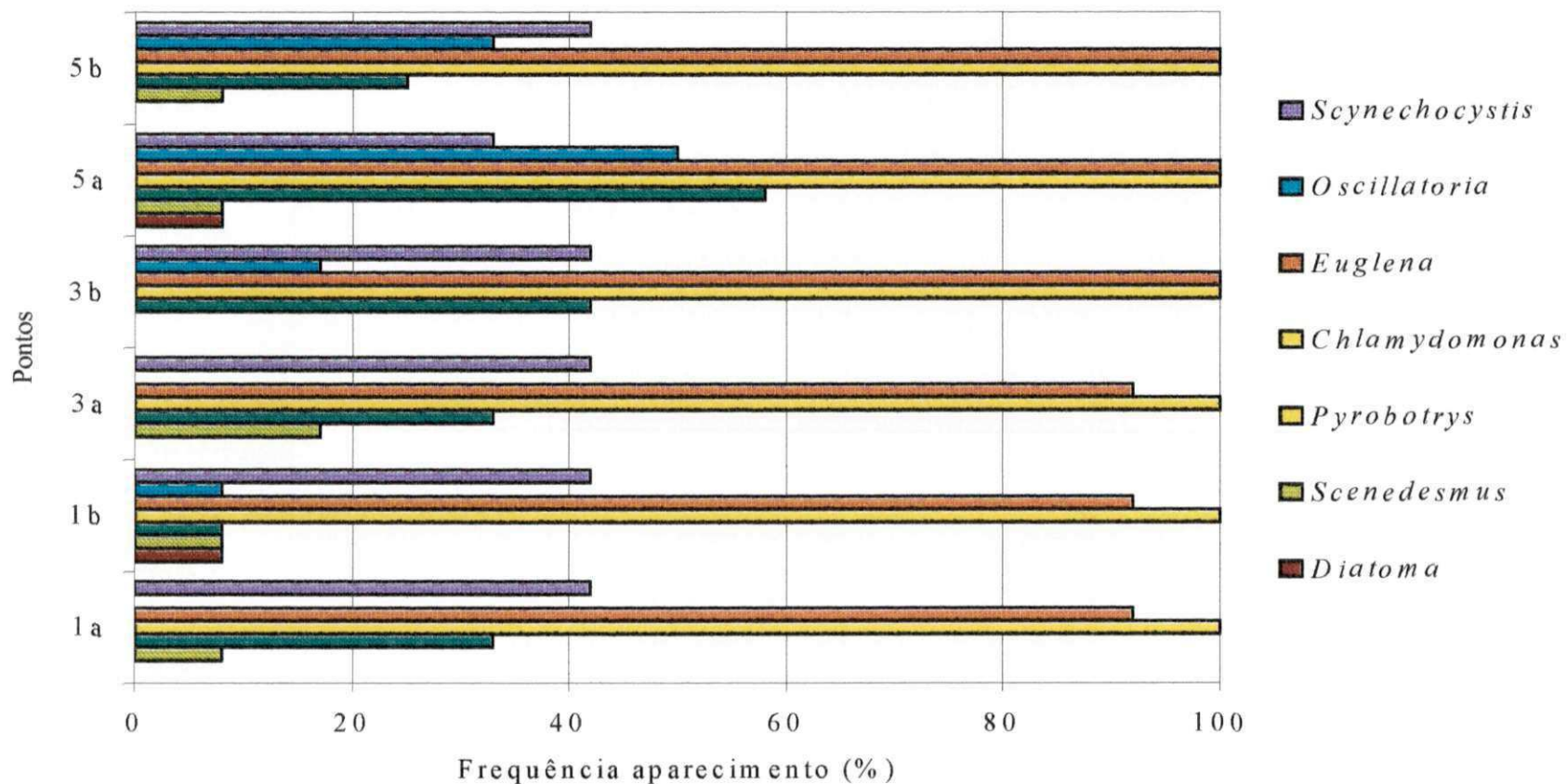


Figura 4.5 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, pela manhã às 6 h 30 min.

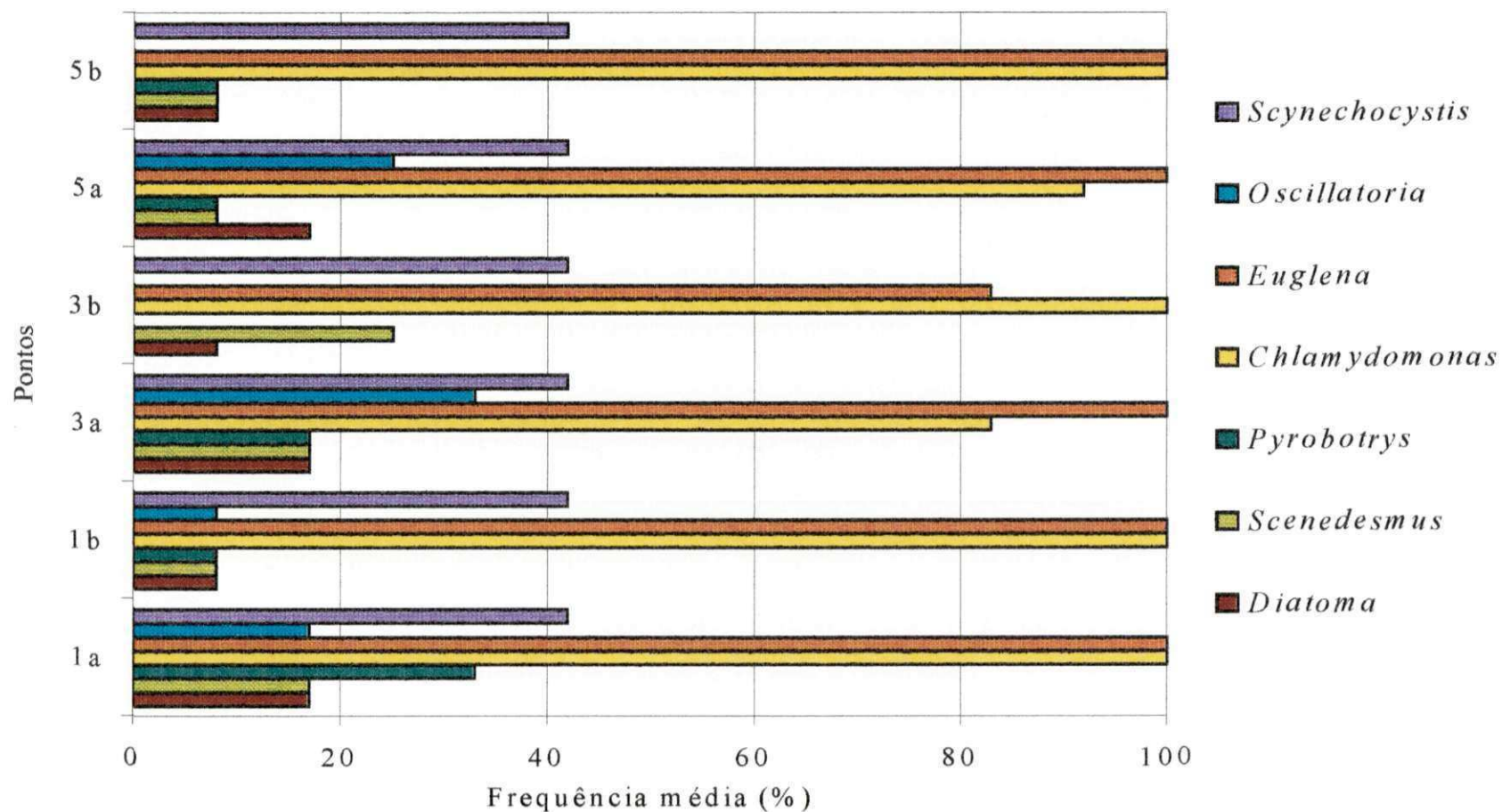


Figura 4.6 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 17/03 a 27/10/2000, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, a tarde às 13 h 30 min.

de identificação, também, nos últimos 5 (cinco) experimentos, numerosas células verdes (*Synechocystis*) minúsculas foram evidenciadas. Na contagem de organismos do fitoplâncton também ficou evidenciado a predominância desses três gêneros, conforme Tabela 4.1. Assim, na análise dos dados de contagem, será dada maior ênfase àqueles referentes aos gêneros dominantes.

Pela manhã, o número de *Euglena* variou entre zero (ausência) e 205×10^2 UPC/ml em amostras da massa líquida da lagoa F29 e as concentrações máximas, no nível 5 cm, foram significativamente maiores (entre 2 e 4 vezes) que no nível 200 cm. Em termos de concentrações médias, dos três pontos analisados foi verificado que o nível 5 cm apresentou números maiores (entre 2 e 3 vezes) que a 200 cm de profundidade. O canal de saída (ponto 1) apresentou concentrações médias de $84,4 \times 10^2$ e $32,2 \times 10^2$ UPC/ml, respectivamente, na superfície e na camada mais profunda, sendo esses valores bem maiores que nos outros dois canais (pontos 3 e 5) da lagoa provida de chicanas, conforme os valores mostrados na Tabela 4.1. Através da qual pode ser concluído que os dados referentes à mediana também confirmam essa distribuição de algas, *Euglena*. Os dados do efluente refletem uma média daqueles obtidos no nível superficial nas diferentes regiões da lagoa.

As concentrações de *Euglena*, à tarde, foram significativamente superiores às ocorridas pela manhã, sendo a faixa observada de zero (ausência) a 1470×10^2 UPC/ml. No nível 5 cm, a concentração média (Tabela 4.1) foi menor ($275,9 \times 10^2$ UPC/ml) no canal central (ponto 3), atingindo um valor quase três vezes menor que no canal de saída (ponto 5) $745,2 \times 10^2$ UPC/ml, situação essa também refletida pelas medianas. Também, nesse período, o nível superficial apresentou uma população de *Euglena* bem maior que o nível a 200 cm. Isso ficou evidenciado, tanto em termos de valores máximos (entre 10 e 134 vezes) como em termos de médias (entre 50 e 152 vezes). A comparação das medianas, em ambos turnos, também evidencia essa situação.

O gênero *Chlamydomonas*, no turno da manhã, apresentou uma variação do número entre $1,5 \times 10^2$ e 185×10^2 UPC/ml na massa líquida da lagoa F29. As concentrações médias (Tabela 4.1) variaram entre $53,66 \times 10^2$ UPC/ml, a 200 cm de profundidade no canal de saída (ponto 5), e $97,70 \times 10^2$ UPC/ml, no nível superficial do mesmo canal. Nos outros canais da lagoa não foi observada uma variação significativa do número médio de *Chlamydomonas* entre o nível superficial e o mais profundo. Essa situação também é refletida pela observação das medianas.

À tarde, as concentrações médias de *Chlamydomonas* foram significativamente maiores (quase três vezes), no nível superficial, dos canais de entrada (ponto 1) e saída (ponto 5), que no nível 200 cm de profundidade, variando essas concentrações médias na faixa $(43,5 - 154,0) \times 10^2$ UPC/ml e os máximos entre $165,0 \times 10^2$ e $1635,0 \times 10^2$ UPC/ml. A comparação dos parâmetros estatísticos descritivos (Tabela 4.1) de *Chlamydomonas*, particularmente médias, medianas e valores máximos, na massa líquida, permitiu verificar que, pela manhã, esse gênero tendeu a ser numericamente superior ao de *Euglena* e à tarde essa tendência pareceu se inverter. Essas tendências, no entanto, não foram acompanhadas pelas contagens do efluente. Com relação a este ponto (efluente) foi observado que, pela manhã, o número médio de organismos foi menor e à tarde foi maior que os números médios de quaisquer níveis e pontos na massa líquida.

As faixas de concentrações do gênero *Pyrobotrys* foram de zero (ausência) a 2×10^2 UPC/ml, pela manhã, e zero (ausência) a $1,5 \times 10^2$ UPC/ml, à tarde (Tabela 4.1), ocorrendo um grande número de amostras com ausência deste gênero, nos dois níveis nos diversos pontos o que causou também a ocorrência de elevadas frequências de valores médios nulos (7 num total de 12). As medianas foram todas nulas indicando a ocorrência somente ocasional do gênero *Pyrobotrys* na massa líquida da lagoa F29.

As concentrações do gênero *Scenedesmus*, tanto no turno da manhã como à tarde, foram baixas, variando entre zero (ausência) e $1,5 \times 10^2$ UPC/ml, em toda a massa líquida da lagoa F29.

As concentrações médias dos gêneros *Oscillatoria* e *Diatoma* foram relativamente baixas nos dois turnos, em todos os pontos (1, 3 e 5) da lagoa F29. Em termos de concentrações máximas foram observados valores de $0,5 \times 10^2$ UPC/ml. Como no caso do gênero *Pyrobotrys* houve um grande número de amostras nulas onde este gênero esteve ausente, o que contribuiu significativamente para a diminuição das médias.

O gênero *Synechocystis* (cianobactéria), pela manhã, apresentou nos três meses iniciais (de 17/03 a 02/06/2000) amostras com concentrações nulas. No entanto, de 23 de agosto a 27 de outubro de 2000, ocorreram valores máximos significativos (entre 560×10^2 e 765×10^2 UPC/ml) nos diversos pontos, tanto no nível 200 cm no canal de entrada como no nível 5 cm nos canais central e de saída. Em termos de valores médios, o nível 200 cm apresentou valores um pouco maiores tanto no canal de entrada como no canal central. Devido à grande quantidade de amostras com valores nulos, ausência, nos diversos pontos e níveis, as medianas foram nulas. A média ($144,58 \times 10^2$ UPC/ml) das amostras do efluente durante todo o período do experimento foi inferior à média entre os canais da lagoa.

A concentração do gênero *Synechocystis* nas amostras da massa líquida da lagoa F29 no turno da tarde, teve o mesmo comportamento do turno da manhã, ou seja, amostras com concentrações nulas no período de 17/03 a 02/06/2000 e concentrações variando de 515×10^2 a 880×10^2 UPC/ml de 23/8 a 27/10/2000, com maiores valores sendo observados, no nível 200 cm (6% e 38% maior) nos canais de entrada e central, respectivamente, e no nível 5 cm (34% maior) no canal de saída. Em termos de médias os maiores valores, foram identificados no nível 5 cm. Com relação à mediana, houve uma tendência de ser nula, de modo similar à situação do turno da manhã. Para os dados das amostras do efluente a

média ($139,16 \times 10^2$ UPC/ml) foi inferior (34%) à média da massa líquida e o valor máximo (590×10^2 UPC/ml) também foi inferior à média dos valores máximos dos canais.

É preciso enfatizar que todos os dados aqui apresentados são valores obtidos em estudos realizados às 6 h 30 min (turno da manhã), estando a massa líquida da lagoa refletindo ainda a situação da noite anterior, e às 13 h 30min (turno da tarde) que reflete uma condição estabelecida durante um período do dia no qual há intensa luminosidade, promovendo a fotossíntese e a produção de grande quantidade de oxigênio.

Os resultados mostram que 5 (cinco) gêneros de algas foram mais freqüentes na lagoa F29 nos dois turnos, destacando - se os gêneros *Euglena* e *Chlamydomonas* (algas flageladas), por serem resistentes à poluição orgânicas e a espécies químicas tóxicas (Pearson *et al.*, 1987, de Oliveira, 1990) e os gêneros *Pyrobotrys* (algas flageladas), *Scenedesmus* e *Diatoma* (algas não flageladas) menos freqüentes, são mais sensíveis. Os gêneros de algas encontrados neste trabalho, confirmam, o que Palmer (1969), no seu importante trabalho de predominância, dos gêneros e espécies de algas encontrou com freqüência em ambientes de águas poluídas. Os dados, em média, não sofreram alterações significativas, os valores foram mantidos em todas as amostras, nos diversos pontos e níveis de amostragem como nos dois turnos. Silva (1982), investigando lagoas facultativas primárias no Nordeste do Brasil, com profundidade de 1,25 m, com tempos de detenção hidráulica de 9,5 a 18,9 dias e cargas orgânicas de 162 a 322 kg DBO₅/ha.dia, encontrou os mesmos gêneros. De Oliveira (1990), trabalhando com lagoas facultativas primárias profundas, em escala-piloto, cargas entre 267 e 400 kgDBO₅/ha.dia e tempos de detenção de 11,5 a 17,3 dias, também encontrou os mesmos gêneros. A presença ou ausência de determinados gêneros de algas no efluente pode caracterizar o grau de tratamento da lagoa.

Tabela 4.1 – Parâmetros estatísticos descritivos para os dados de contagem dos gêneros de algas do fitoplânctico, com amostras coletadas em 3 pontos (1, 3 e 5) e dois níveis (a = 5 cm e b = 200 cm) na massa líquida da lagoa F29, no período de 17/03 a 27/10/2000. As concentrações são expressas na forma $C \times 10^2$ UPC/ml.

		<i>Manhã</i>							<i>Tarde</i>								
		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente
<i>Synechocystis</i>	<i>Média (x)</i>	2,29	151,2	152,2	165,4	195,4	200,4	147,5	144,58	0,0	219,1	181,6	176,2	159,9	212,9	168,3	139,16
	<i>Mediana (Md)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	7,93	208,9	246,9	228,1	255,8	276,6	218,5	211,16	0,0	350,2	283,8	226,1	244,5	305,5	233,6	212,89
	<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Máximo (Max)</i>	27,5	565,0	765,0	665,0	560,0	690,0	590,0	665,0	0,0	830,0	880,0	515,0	710,0	795,0	595,0	590,0
	<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Oscillatoria</i>		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente
	<i>Média (x)</i>	0,16	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	0,29	0,04	0,0	0,0	0,0	0,08	0,0	0,04
	<i>Mediana (Md)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,44	0,0	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,39	0,14	0,0	0,0	0,0	0,19	0,0	0,14
	<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Máximo (Max)</i>	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Euglena</i>		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente
	<i>Média (x)</i>	0,333	41,20	19,00	40,58	23,50	84,37	32,16	59,04	0,37	559,6	12,5	275,5	4,29	745,2	4,91	312,25
	<i>Mediana (Md)</i>	0,0	23,25	16,25	33,00	21,25	86,00	28,50	51,00	0,25	571,2	4,25	250,0	3,0	636,2	5,0	67,75
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,615	46,35	11,89	34,01	14,61	62,09	19,02	43,27	0,56	379,6	29,23	198,8	4,22	442,5	2,84	452,63
	<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
	<i>Máximo (Max)</i>	2,0	160,0	38,50	104,0	51,00	205,0	68,00	133,00	2,0	1045,	105,0	725,0	15,00	1470,	11,00	1225,0
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

(continua)

		Manhã										Tarde									
		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente				
<i>Media (x)</i>	0,58	70,29	75,83	65,58	68,95	97,70	53,66	47,54	0,04	120,1	43,54	52,08	56,04	154,0	54,54	364,41					
<i>Mediana (Md)</i>	0,0	69,25	77,75	76,25	47,50	120,0	50,25	35,5	0,0	17,5	30,75	12,25	41,5	15,25	42,5	216,25					
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	1,14	52,65	50,26	35,29	57,01	56,00	42,47	37,90	0,14	172,0	37,72	114,6	54,27	466,7	46,21	414,6					
<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	3,0	3,0	3,0	9,0	3,5	1,5	4,5	0,0	2,0	3,5	0,0	1,5	1,5	7,5	3,0					
<i>Máximo (Max)</i>	4,0	147,5	147,5	116,5	185,0	175,0	132,5	125,00	0,5	502,5	100,0	407,5	182,5	1635,	165,0	1372,5					
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					
		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente				
<i>Media (x)</i>	0,16	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	0,29	0,04	0,0	0,0	0,08	0,0	0,04					
<i>Mediana (Md)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,44	0,0	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,39	0,14	0,0	0,0	0,0	0,19	0,0	0,14					
<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
<i>Máximo (Max)</i>	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5					
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					
		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente				
<i>Media (x)</i>	0,0	0,04	0,04	0,08	0,0	0,04	0,04	0,04	0,0	0,0	0,18	0,04	0,12	0,25	0,04	0,08	0,0				
<i>Mediana (Md)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,0	0,14	0,14	0,19	0,0	0,14	0,14	0,0	0,0	0,19	0,14	0,22	0,50	0,14	0,28	0,0					
<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
<i>Máximo (Max)</i>	0,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1,0	0,0					
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					

(continua)

		<i>Manhã</i>							<i>Tarde</i>								
<i>Diatoma</i>		E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente	E.B.	1a	1b	3a	3b	5a	5b	Efluente
	<i>Média (x)</i>	0,08	0,04	0,0	0,0	0,04	0,25	0,0	0,12	0,0	0,08	0,0	0,2	0,0	0,16	0,04	0,0
	<i>Mediana (Md)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,19	0,14	0,0	0,0	0,14	0,86	0,0	0,31	0,0	0,19	0,0	0,39	0,0	0,38	0,14	0,0
	<i>Mínimo (Min)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Máximo (Max)</i>	0,5	0,5	0,0	0,0	0,5	3,0	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,0
	<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

4.1.3 Clorofila *a*

A análise da biomassa de algas expressa como clorofila *a*, em amostras nos diferentes pontos e níveis, nos horários da manhã e tarde ao longo do período experimental (entre 17/03 e 27/10/2000) da lagoa F29, mostrou que, pela manhã, as concentrações na massa líquida foram mantidas na faixa de 185 a 1358 $\mu\text{g/l}$, sendo que os maiores valores foram encontrados na superfície (Tabela 4.2). Os valores médios das concentrações de clorofila *a* nos canais variaram entre 337,4 e 615,6 $\mu\text{g/l}$. As menores médias foram obtidas no nível 200 cm e as maiores na superfície, sendo esse comportamento também observado para as medianas. O canal de saída (ponto 1) mostrou as diferenças mais significativas entre a superfície e o fundo com base nos diversos parâmetros descritivos das medidas (máximo, média e mediana). A média das concentrações de clorofila *a* medidas no efluente no turno da manhã foi compatível com a média das concentrações dos diferentes canais (pontos 1, 3 e 5).

Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/2000 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	20,9	409,4	343,6	431,1	337,4	615,6	413,6	476,4
<i>Mediana (Md)</i>	17,5	417,0	306,5	427,5	280,5	555,0	357,5	424,0
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	18,6	107,7	118,9	119,2	155,6	299,5	163,9	186,6
<i>Mínimo</i>	3,0	233,0	208,0	263,0	185,0	317,0	225,0	241,0
<i>Máximo</i>	69,0	575,0	553,0	683,0	658,0	1358,0	699,0	774,0
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

No turno da tarde, os valores das concentrações de clorofila *a* foram maiores que pela manhã, considerando – se os respectivos pontos e datas amostrados (Tabela 4.3), sendo a faixa de valores máximos de 431 a 6628 $\mu\text{g/l}$, com dois valores elevados (5140 e 6628 $\mu\text{g/l}$), numa mesma data (23/08/2000),

observados nos canais de entrada (ponto 1) e saída (ponto 5) respectivamente, ambos na superfície. As maiores concentrações médias de clorofila *a* ocorreram na superfície em todos os canais, com grandes diferenças (variando de 13,4 a 15,4 vezes), com relação às concentrações médias no nível 200 cm acentuando-se a situação observada no turno da manhã.

Tabela 4.3 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	33,5	2206,4	227,2	1281,3	257,1	3130,8	275,4	1651,9
<i>Mediana (Md)</i>	20,5	1887	198	1175	230	2849,5	270,5	1599
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	46,7	1440,2	111,8	873,5	111,6	1747,7	122,7	1243,9
<i>Mínimo</i>	1,0	253,0	89,0	197,0	116,0	268,0	127,0	222,0
<i>Máximo</i>	178,0	5140,0	431,0	3224,0	450,0	6628,0	495,0	4653,0
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

As medianas confirmaram as observações baseadas nos valores médios. As concentrações de clorofila *a* medidas no efluente no turno da tarde foram maiores que as do turno da manhã, cuja média foi maior que a média obtida no interior dos canais. Os altos valores das concentrações de clorofila *a* do turno da tarde estão diretamente relacionados à maior incidência de radiação solar (13 h 30 min) que intensifica a fotossíntese e, conseqüentemente, o aumento de biomassa de algas na massa líquida.

Em todo o período experimental, ao serem comparadas as concentrações de clorofila *a*, as do turno da tarde foram superiores às da manhã, indicando que as concentrações máximas resultaram sempre da atividade do fitoplâncton no horário diurno, enquanto que as mínimas, refletiram o horário noturno. As altas concentrações de clorofila *a* verificadas no turno da tarde, indicam a maior frequência e intensidade de ocorrência de florescimentos de algas nas camadas mais superficiais (5 cm). Comparadas as médias obtidos neste trabalho com

outros resultados de trabalhos da EXTRABES foi verificado que elas foram, superiores às obtidas por de Oliveira (1990) em lagoas facultativas primárias profundas (2,20 m) e inferiores às de Silva (1982) em lagoas facultativas primárias rasas (1,25 cm), mas confirmaram os resultados de Diniz (1999), numa investigação preliminar do mesmo reator aqui estudado.

Os altos valores de concentrações de clorofila *a* em lagoas de estabilização facultativas primárias evidenciam a ocorrência de populações de algas, enquanto que os decréscimos observados, podem indicar uma inibição, provocada no interior da própria lagoa, por organismos e materiais tóxicos. As concentrações extremas de clorofila *a*, também podem estar associados aos horários de coleta e aos movimentos migratórios (ascendente) das algas flageladas, predominantes na lagoa F29.

4.1.4 – Temperatura

Os dados de temperatura foram coletados no período de 17/03 a 27/10/2000. No turno da manhã, os valores foram entre 21 e 26 °C, não havendo diferenças muito significativas entre os canais e os níveis. O valor médio foi de 22,9 °C na massa líquida da lagoa, conforme a Tabela 4.4. As medianas, foram uniformes (23 °C), comportamento este comum para os canais e níveis. A média das temperaturas das amostras do efluente correspondeu, às médias entre os canais, sendo esta situação também refletida por mediana, mínima e máxima.

No turno da tarde, os valores obtidos foram maiores que no turno da manhã, nos respectivos dias e pontos de amostragens, sendo observados valores entre 22 e 36 °C, tendo os maiores valores ocorrido em pontos da superfície. Conforme apresentado na Tabela 4.5, as maiores médias ocorreram também na superfície (em torno de 28,5 °C), enquanto as médias no nível 200 cm foram menores (em torno de 24,4 °C) em todos os canais. Em relação aos valores das

4.1.6 – Oxigênio dissolvido

A faixa das concentrações de oxigênio dissolvido, pela manhã, foi de 0,1 a 1,7 mg/l, em toda a extensão da lagoa, não ocorrendo grandes diferenças em termos de valores (médios, máximos e medianas), tanto entre os canais, como entre os níveis. As concentrações médias de oxigênio dissolvido estiveram sempre numa pequena faixa de 0,70 a 0,75 mg/l, conforme a Tabela 4.8. As mais baixas concentrações de oxigênio pela manhã, tanto na superfície como no fundo refletem, ainda, as condições predominantes à noite na massa líquida, caracterizada por menor aerobiose e mistura completa.

Tabela 4.8 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	0,70	0,75	0,72	0,72	0,70	0,73	0,70	0,81
<i>Mediana (Md)</i>	0,75	0,85	0,80	0,80	0,85	0,80	0,80	0,90
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,44	0,42	0,44	0,40	0,38	0,45	0,79	0,42
<i>Mínimo</i>	0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30
<i>Máximo</i>	1,6	1,40	1,40	1,40	1,40	1,70	1,10	1,70
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	11

As faixas dos valores encontrados à tarde (Tabela 4.9) nos mesmos dias, níveis e pontos analisados pela manhã, foram, de 0,6 a 20 mg/l para os valores máximos, de 0,50 a 16,00 mg/l para os valores de médios e de 0,5 a 16,5 mg/l para os valores de medianas, demonstrando faixas de valores bem maiores que no turno da manhã, sendo predominantes as maiores concentrações no nível 5 cm. As mais altas concentrações de oxigênio dissolvido obtidas na superfície indicam a mais alta atividade fotossintética de algas e cianobactérias. As concentrações tendem a crescer com o tempo, especialmente nos níveis superficiais expostos a luz solar.

A faixa de valores médios obtidos neste estudo, confirma os de Diniz (1999). As flutuações de oxigênio dissolvido, mostraram a mesma tendência das concentrações de clorofila *a*. As elevadas concentrações de oxigênio dissolvido são uma conseqüência de atividade fotossintética do fitoplâncton que, exercendo as condições favoráveis de insolação e temperatura, uma influência direta sobre a velocidade desse processo e a conseqüente liberação de oxigênio molecular. Também, deve ser destacado que, os declínios da concentração de oxigênio dissolvido podem ter sido influenciados pela baixa concentração de biomassa.

Tabela 4.9 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	0,77	12,19	0,50	12,17	0,44	16,00	0,50	3,50
<i>Mediana (Md)</i>	0,65	14,05	0,50	12,20	0,50	16,50	0,50	0,75
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,70	4,75	0,21	4,33	0,17	4,71	0,25	5,78
<i>Mínimo</i>	0,0	4,80	0,10	4,30	0,10	4,50	0,10	0,30
<i>Máximo</i>	2,50	18,80	0,80	20,0	0,60	20,0	1,0	20,0
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

4.1.7 - DBO_{5(Bruta)}

As Tabelas 4.10 e 4.11 apresentam, respectivamente, os parâmetros estatísticos descritivos dos dados de DBO_{5(Bruta)} (mg/l), em amostras coletadas pela manhã e à tarde nos pontos (1, 3 e 5) nos níveis (5 e 200 cm) da lagoa F29. Pela manhã, as concentrações foram uniformes, com valores médios entre 52 a 63 mg/l, não sendo observáveis diferenças significativas entre os níveis, fato também observado nos valores das medianas, em todos os pontos (1, 3 e 5). Os valores máximos estiveram numa faixa de 179 a 193 mg/l. As faixas de valores foram relativamente estreitas vistos os parâmetros estatísticos descritivos

Tabela 4.10- Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	142	60	59	63	58	63	51	52
<i>Mediana (Md)</i>	74	57	50	54	43	51	51	43
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	153	42	45	47	47	42	45	49
<i>Mínimo</i>	9	12	7	3	14	33	4	9
<i>Máximo</i>	506	179	188	193	185	190	182	196
<i>E. amostral (n)</i>	11	12	12	12	12	12	12	12

(média, mediana, máximo), refletindo a condição de mistura da massa líquida no período noturno e que ainda se manifesta logo cedo pela manhã no horário de coleta. Os parâmetros estatísticos do efluente estiveram praticamente nas mesmas faixas dos valores das amostras dos canais.

À tarde, as concentrações foram um pouco maiores que as da manhã. Em termos de valores máximos, a faixa foi de 91 a 160 mg/l, sendo que no canal de entrada (ponto 1) os valores entre os níveis (5 e 200 cm) foram praticamente os mesmos, e nos canais central (ponto 3) e de saída (ponto 5) com diferenças, entre 99 (5 cm) e 156 (200 cm) mg/l e entre 160 (5 cm) e 91 (200 cm) mg/l, respectivamente. A faixa de valores médios foi de 50 a 101 mg/l, variando entre os níveis, de 87 a 62 mg/l no canal de entrada, de 72 a 56 mg/l no canal central e de 101 a 50 mg/l no canal de saída. No efluente, comparadas as medidas, a média e a mediana, estiveram na faixa observada nos canais, enquanto a medida de máxima foi superior.

A DBO_5 é a quantidade de O_2 necessária pelas bactérias aeróbias para oxidar a matéria orgânica (Sawyer, 1994), ou ainda, é um parâmetro que pode exprimir a presença de material orgânico biodegradável solúvel e particulado. Tanto pela manhã como à tarde ocorre, em lagoas de estabilização, uma tendência da acumulação de quantidades consideráveis de biomassa fitoplanctônica na superfície, em consequência de condição meteorológica

Tabela 4.11 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	378	87	62	72	56	101	50	79
<i>Mediana (Md)</i>	396	81	68	82	51	89	54	79
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	396	81	68	82	51	89	54	79
<i>Mínimo</i>	193	44	11	22	15	48	10	10
<i>Máximo</i>	580	159	155	99	156	160	91	174
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

favoráveis, particularmente em termos de luminosidade. À tarde, no entanto, a acumulação tende a ser maior acarretando uma maior fração da DBO_5 particulada com a possibilidade de uma maior acumulação de produtos orgânicos solúveis eliminados pelo fitoplâncton. O aumento considerável de algas, ocorrida à tarde são em virtude das altas temperaturas e radiação solar, principalmente nas camadas mais superficiais da lagoa.

4.1.8 – $DBO_{5(Filtrada)}$

As Tabelas 4.12 e 4.13 mostram a estatística descritiva para a variável $DBO_{5(Filtrada)}$ nos turnos manhã e tarde respectivamente.

Foram 54 medidas, sendo 24 medidas feitas pela manhã e 30 medidas à tarde, no período entre 23/08 a 27/10/2000 na massa líquida da lagoa F29. Pela manhã (Tabela 4.12), os dados apresentaram tendência de uniformidade, tanto com relação aos pontos e níveis, variando as concentrações máximas de 36 a 57 mg/l, com uma faixa de concentrações médias de 26 a 34 mg/l. As concentrações das amostras do efluente foram superiores às obtidas nos canais (Pontos 1, 3 e 5).

À tarde (Tabela 4.13), foram observadas pequenas oscilações, porém os valores obtidos à 200 cm foram maiores quando comparados com a superfície.

Uma variação média de 14 a 34 mg/l foi observada em toda a massa líquida, sendo a variação dos valores máximos de 26 a 53 mg/l.

Tabela 4.12 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(\text{Filtrada})}$ (mg/l) na lagoa F29, de 23/08 a 27/10/00 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	31	30	30	34	26	32	29	44
<i>Mediana (Md)</i>	34	32	25	29	27	32	31	34
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	14	13	1	17	11	16	14	30
<i>Mínimo</i>	12	15	19	22	13	14	13	19
<i>Máximo</i>	43	41	51	57	36	49	42	87
<i>E. amostral (n)</i>	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabela 4.13 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(\text{Filtrada})}$ (mg/l) na lagoa F29, de 23/08 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	134	14	34	19	31	15	33	19
<i>Mediana (Md)</i>	138	14	30	19	34	15	28	20
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	23	10	12	8	16	8	16	8
<i>Mínimo</i>	95	1	25	8	7	2	14	9
<i>Máximo</i>	156	26	53	29	49	23	52	28
<i>E. amostral (n)</i>	5	5	5	5	5	5	5	5

Os valores obtidos à tarde, no geral, foram inferiores aos da manhã. Comparadas as medidas das amostras do efluente, diferente do turno da manhã, seus valores estiveram na faixa das medidas obtidas entre os canais.

4.1.9 – $DQO_{(\text{Bruta})}$

Em toda a extensão da lagoa, nos 3 pontos (1, 3 e 5), as concentrações de

DQO_(Bruta) estiveram numa faixa média de 223 a 254 mg/l. Os valores médios de DQO_(Bruta) apresentaram, como a DBO_{5(Bruta)}, uma uniformidade durante o turno da manhã (17/03 a 27/10/00), tanto com relação aos pontos como aos níveis. Entre os níveis (5 e 200 cm) a variação dos valores máximas de DQO_(Bruta) foi pequena, de 334 a 371 mg/l (Tabela 4.14), sendo os valores da superfície maiores, comportamento também observado para as medianas.

Tabela 4.14 - Parâmetros estatísticos descritivos para DQO_(Bruta) (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	296	245	223	245	227	254	233	247
<i>Mediana (Md)</i>	274	232	209	249	224	234	218	230
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	177	48	49	45	37	51	41	55
<i>Mínimo</i>	105	185	165	169	184	202	184	186
<i>Máximo</i>	748	356	334	349	334	371	338	377
<i>E. amostral (n)</i>	11	12	12	12	12	12	12	11

À tarde, as maiores concentrações de DQO_{Bruta} foram observadas nos pontos 1 e 5, na superfície, e as variações entre os níveis tiveram o mesmo comportamento do período da manhã (Tabela 4.15). A faixa média das concentrações de DQO_(Bruta) do turno da tarde em toda a extensão da lagoa

Tabela 4.15 - Parâmetros estatísticos descritivos para DQO_(Bruta) (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	723	399	229	336	214	510	208	405
<i>Mediana (Md)</i>	801	359	238	315	220	506	219	374
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	223	157	43	114	39	178	39	168
<i>Mínimo</i>	151	168	132	179	129	167	115	199
<i>Máximo</i>	895	649	293	576	292	821	267	792
<i>E. amostral (n)</i>	10	12	12	12	12	12	12	12

(pontos 1, 3 e 5), foi de 208 a 510 mg/l, à 5 cm, a qual foi superior à faixa média do período da manhã. O comportamento geral da $DQO_{(Bruta)}$, nos dois turnos, foi semelhante ao da $DBO_{5(Bruta)}$.

As baixas concentrações, tanto pela manhã como à tarde, demonstram uma diminuição gradativa de matéria orgânica ao longo do canal. Nos dois turnos a faixa média de $DQO_{(Bruta)}$ foi superior às observados por de Silva (1982) e de Oliveira (1990).

4.1.10 – $DQO_{(Filtrada)}$

Pela manhã, as concentrações de $DQO_{(Filtrada)}$ apresentaram tendência à uniformidade, tanto com relação aos pontos e níveis (de cada experimento, como ao longo do período), com as concentrações máximas variando de 182 a 208 mg/l, sendo a faixa das médias de 108 a 120 mg/l.

Tabela 4.16 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (em mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da manhã.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	107	120	118	117	119	108	117	109
<i>Mediana (Md)</i>	80	122	104	107	123	99	105	97
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	77	35	45	38	34	34	38	34
<i>Mínimo</i>	32	79	60	56	58	68	62	74
<i>Máximo</i>	299	189	195	193	184	182	208	199
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

À tarde, foram observadas pequenas oscilações, ficando também demonstrado que, no fundo da lagoa, em média, as concentrações foram maiores, comparadas com a superfície. Os valores de médias oscilarão de 92 a 120 mg/l foi observada em toda a massa líquida (pontos 1, 3 e 5), sendo a faixa de

concentrações máximas entre 146 a 169 mg/l. As Tabelas 4.16 e 4.17 mostram os parâmetros estatísticos descritivas para a variável $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l).

Tabela 4.17 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) na lagoa F29, de 17/03 a 27/10/00 no turno da tarde.

	<i>E.B.</i>	<i>1a</i>	<i>1b</i>	<i>3a</i>	<i>3b</i>	<i>5a</i>	<i>5b</i>	<i>Efluente</i>
<i>Média (x)</i>	267	95	108	101	114	92	120	85
<i>Mediana (Md)</i>	258	97	115	101	103	92	117	83
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	45	30	42	29	29	34	25	28
<i>Mínimo</i>	207	52	5	60	83	11	79	15
<i>Máximo</i>	360	160	150	163	169	146	164	123
<i>E. amostral (n)</i>	12	12	12	12	12	12	12	12

4.1.11 – Glicose

As Tabelas 4.18 e 4.19 apresentam os parâmetros estatísticos descritivos dos dados de glicose ($\mu\text{g/l}$) na lagoa F29, nos turnos da manhã e tarde, respectivamente. Nesse período, foi possível observar que as concentrações de glicose na superfície foram maiores comparadas com as camadas mais profundas na lagoa F29 nos dois turnos. Destacando - se que no turno da manhã em alguns dias de coleta, as concentrações de glicose foram ausentes (nulas) influenciando a média, em toda a massa líquida. No turno da manhã, na massa líquida, a faixa dos valores máximos foi de 890 a 2140 $\mu\text{g/l}$, enquanto que a faixa dos valores médios foi de 270 a 490 $\mu\text{g/l}$.

À tarde, a variação das concentrações máximas foi de 570 a 1280 $\mu\text{g/l}$ e das médias de 160 a 440 $\mu\text{g/l}$. No geral foi observado que os valores das concentrações médias ao longo do canal, foram diminuindo pela manhã, enquanto que à tarde, as médias se mantiveram num certo equilíbrio durante todo

4.2 Análise de variância aplicada aos dados da lagoa F29

A comparação entre médias dos parâmetros analisados na lagoa facultativa primária (F29), sistema experimental 1 foi feita através de análise de variância de fator único (one-way ANOVA), conforme Sokal & Rohlf (1981). As Tabelas 4.20 e 4.21 mostram o resumo dos valores das estatísticas F e Fc, sendo que a Tabela 4.20 mostra a análise feita com as amostras coletadas pela manhã (6 h 30 min) e à tarde (13 h 30 min) e a Tabela 4.21 a análise feita com os turnos em conjunto.

Pela manhã, foi observado que todos os parâmetros, com exceção da Clorofila *a*, não apresentaram diferenças significativas entre as médias estimadas na massa líquida na lagoa F29 para os pontos (1, 3 e 5) e níveis (5 e 200 cm). À tarde, todos os parâmetros com exceção da DQO_(Filtrada) e a Glicose, apresentaram diferenças significativas entre as médias (Tabela 4.20).

Nas Figuras 4.7 a 4.15, são feitas as comparações gráficas das médias das variáveis de qualidade da massa líquida da lagoa, tendo os limites de confiança de 95%, ilustrados nas Figuras, sido determinados pelo método GT-2 (*Ibid.*).

Conforme mencionado, previamente, de um modo geral, pela manhã, a massa líquida das lagoas facultativas tende a ser mais uniforme que à tarde.

Neste período, ocorre a tendência da estratificação térmica, de pH, de concentrações do fitoplâncton e outros parâmetros. Assim, parece lógico que, à tarde ocorram mais diferenças significativas entre as médias das variáveis, entre os níveis, que pela manhã.

Essa situação foi verificada na lagoa em estudo, tendo sido notável na lagoa a predominância de anaerobiose em toda a massa líquida da lagoa, pela manhã. À tarde as camadas mais superficiais tornando – se aeróbias, devido à ação fotossintética do fitoplâncton, tenderam a apresentar valores médios mais característicos dessa condição de aerobiose. Por exemplo, o pH na superfície foi significativamente superior ao das camadas mais profundas.

Foi observado que, de um modo geral, as variáveis apresentaram diferenças significativas ao longo da profundidade, mais que ao longo da extensão longitudinal da lagoa provida de chicanas. Mas é importante destacar que no caso de $DQO_{(Bruta)}$ (Figura 4.12) e clorofila a (Figura 4.15), foram observadas, à tarde, elevações significativas de concentrações na camada superficial especialmente do canal II (ponto 3) para o canal III (ponto 5). Em termos de matéria orgânica, todas as variáveis tiveram um mesmo comportamento, sendo a $DQO_{(Bruta)}$ e $DBO_{5(Filtrada)}$, as que mostraram, à tarde, as maiores diferenças entre as médias dos níveis. A atividade de fotossíntese, que é mais favorecida nas camadas mais próximas da superfície, principalmente no turno da tarde, influenciou as médias entre os níveis, tendo ocorrido diferenças significativas. Em termos de glicose, pela manhã, as médias entre os níveis e pontos não apresentaram diferenças significativas enquanto que, à tarde, destacava-se apenas uma diferença significativa entre as concentrações médias extremas dos pontos 1b e 5a.

A análise de variância aplicada à comparação das médias das variáveis para o conjunto das medidas feitas pela manhã e à tarde (Tabela 4.21) confirmam a existência de diferenças significativas somente para temperatura, OD, pH, clorofila a e $DQO_{(Bruta)}$, não tendo sido confirmadas as diferenças para DBO_5 (Bruta e Filtrada) pertencentes ao conjunto das diferenças observadas para os dados do período da tarde (Tabela 4.20). Esse resultado refletiu a força da influência da ação fotossintética do fitoplâncton nesse período do ciclo diário no qual ocorreu um aumento de pH e OD, associado ao aumento da biomassa (clorofila a e $DQO_{(Bruta)}$) à medida em que ocorreu, também, o aquecimento da massa líquida.

Tabela 4.20 – Estatísticas F e Fc para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental 1, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios da massa líquida da lagoa F29 ($\alpha = 0,05$).

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores da Estatística F e Fc</i>			
	<i>Manhã</i>		<i>Tarde</i>	
	<i>F</i>	<i>Fc</i>	<i>F</i>	<i>Fc</i>
<i>Temperatura</i> <i>(°C)</i>	0,016	2,354	13,996	2,354
<i>OD</i> <i>(mg/l)</i>	0,158	2,354	59,227	2,354
<i>pH</i>	0,989	2,354	123,950	2,354
<i>DBO₅(Bruta)</i> <i>(mg/l)</i>	0,103	2,354	4,119	2,354
<i>DBO₅(Filtrada)</i> <i>(mg/l)</i>	0,382	2,442	3,135	2,261
<i>DQO (Bruta)</i> <i>(mg/l)</i>	0,796	2,354	14,340	2,354
<i>DQO (Filtrada)</i> <i>(mg/l)</i>	0,149	2,354	1,355	2,354
<i>Clorofila a</i> <i>(µg/l)</i>	4,066	2,354	18,452	2,354
<i>Glicose</i> <i>(µg/l)</i>	0,649	2,354	2,085	2,354

Tabela 4.21 – Estatísticas F e Fc para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental 1, considerando os dois turnos, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os seus valores médios da massa líquida da lagoa F29 ($\alpha = 0,05$).

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores da Estatística F e Fc</i>	
	F	Fc
<i>Temperatura</i> (°C)	20,908	1,862
<i>OD</i> (mg/l)	75,774	1,862
<i>pH</i>	117,206	1,862
<i>DBO₅(Bruta)</i> (mg/l)	1,710	1,862
<i>DBO₅(Filtrada)</i> (mg/l)	1,517	2,025
<i>DQO (Bruta)</i> (mg/l)	14,029	1,862
<i>DQO (Filtrada)</i> (mg/l)	0,932	1,862
<i>Clorofila a</i> (µg/l)	20,186	1,862
<i>Glicose</i> (µg/l)	1,056	1,862

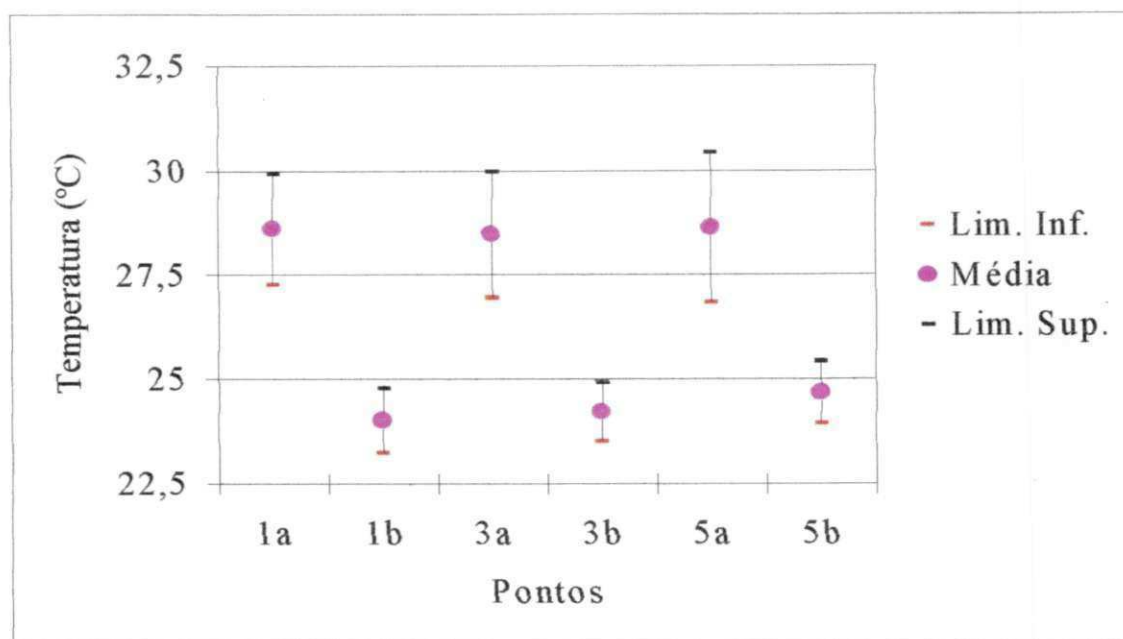


Figura 4.7 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de temperatura na lagoa F29 (turno tarde).

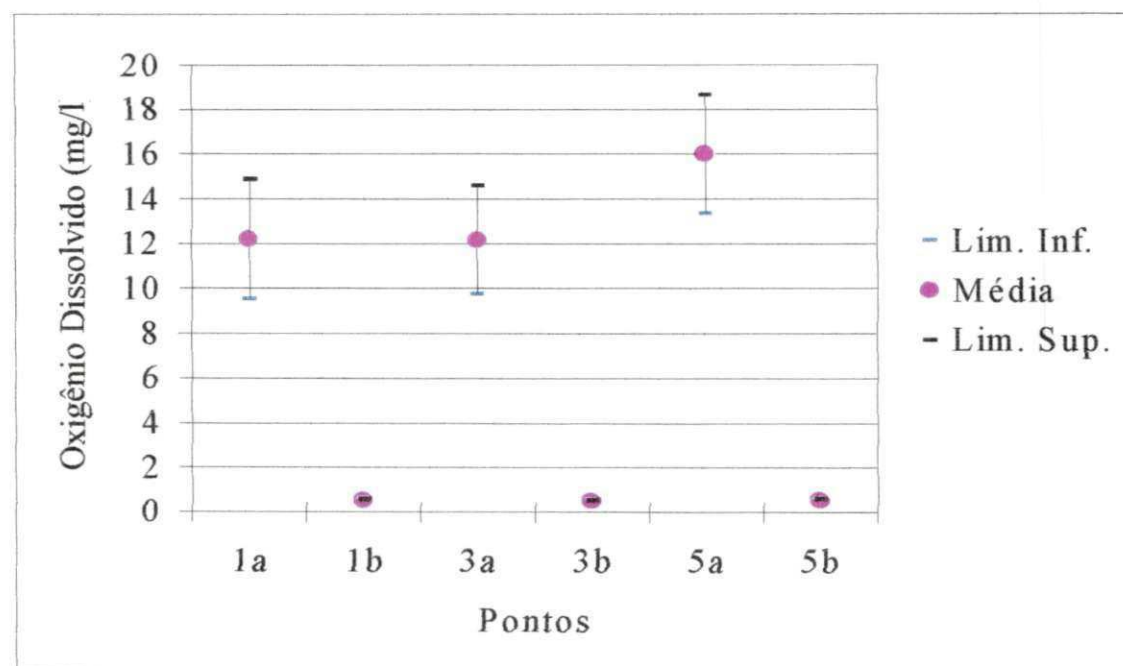


Figura 4.8 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na lagoa F29 (turno tarde).

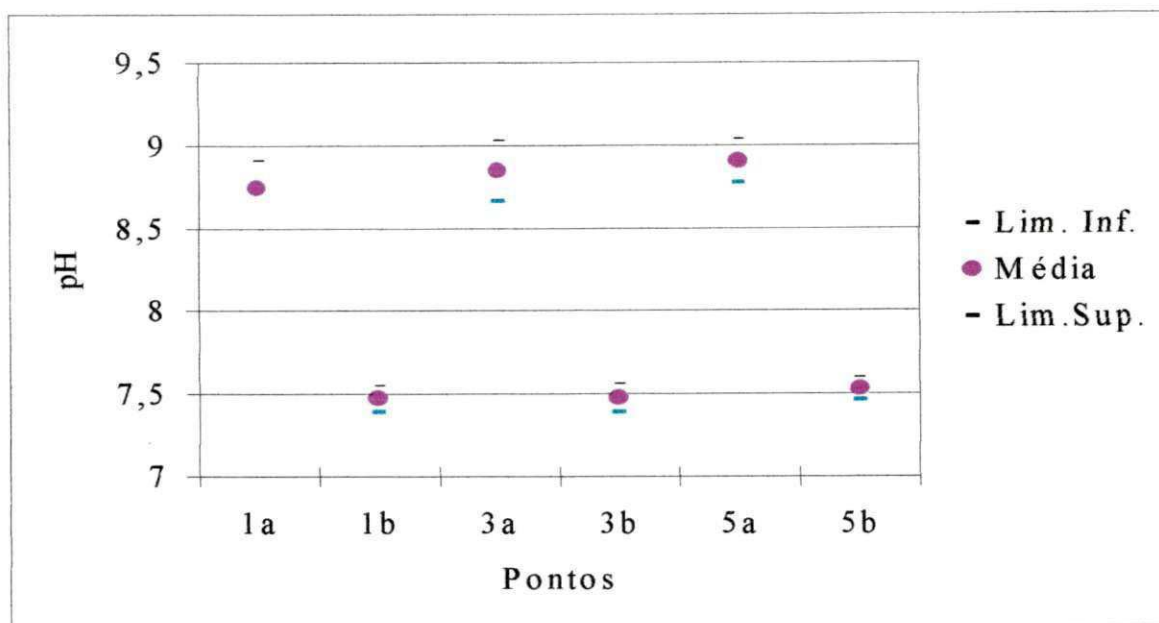


Figura 4.9 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na lagoa F29 (turno tarde).

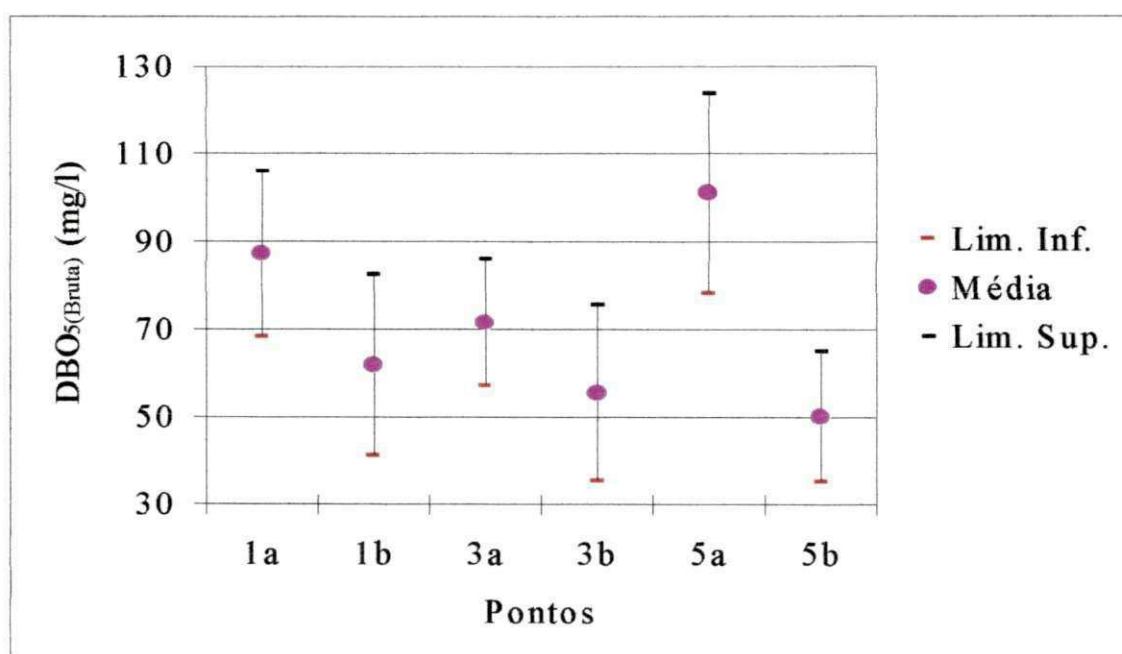


Figura 4.10 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de DBO₅(Bruta) na lagoa F29 (turno tarde).

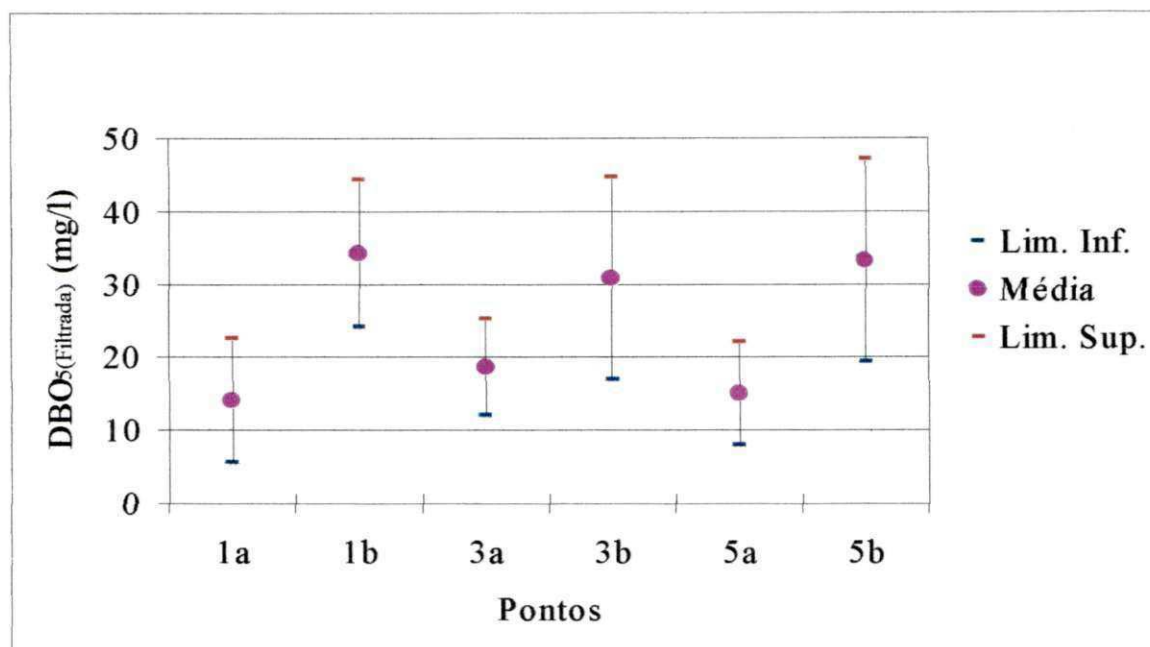


Figura 4.11 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DBO_{5(Filtrada)}$ na lagoa F29 (turno tarde).

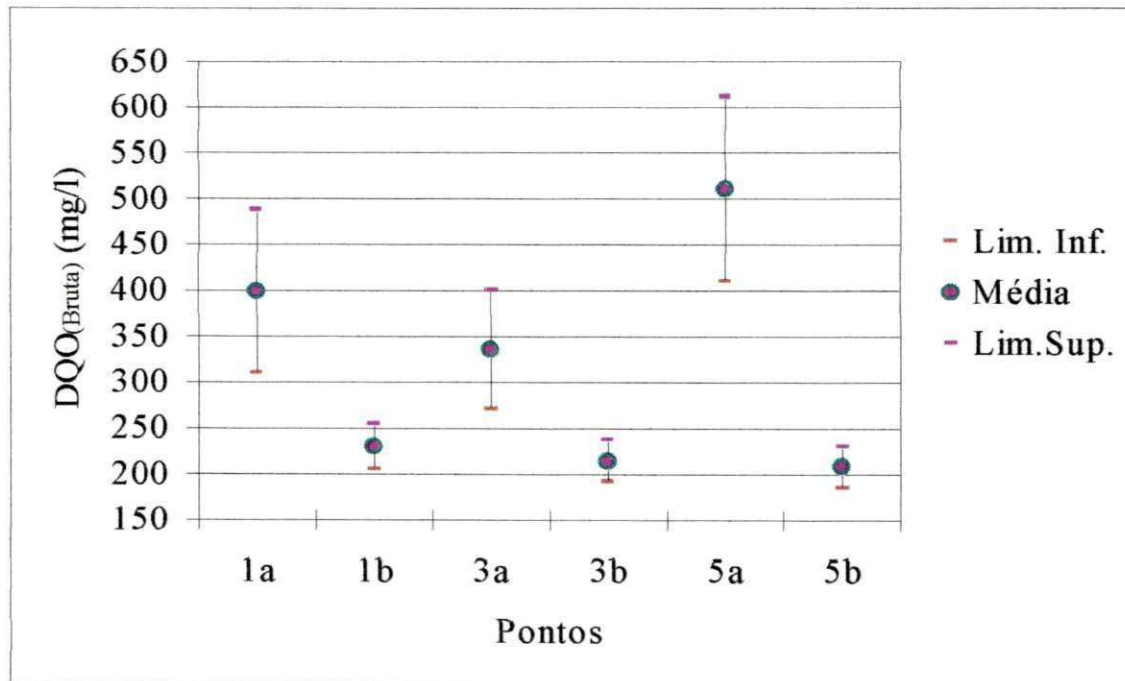


Figura 4.12 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Bruta)}$ na lagoa F29 (turno tarde).

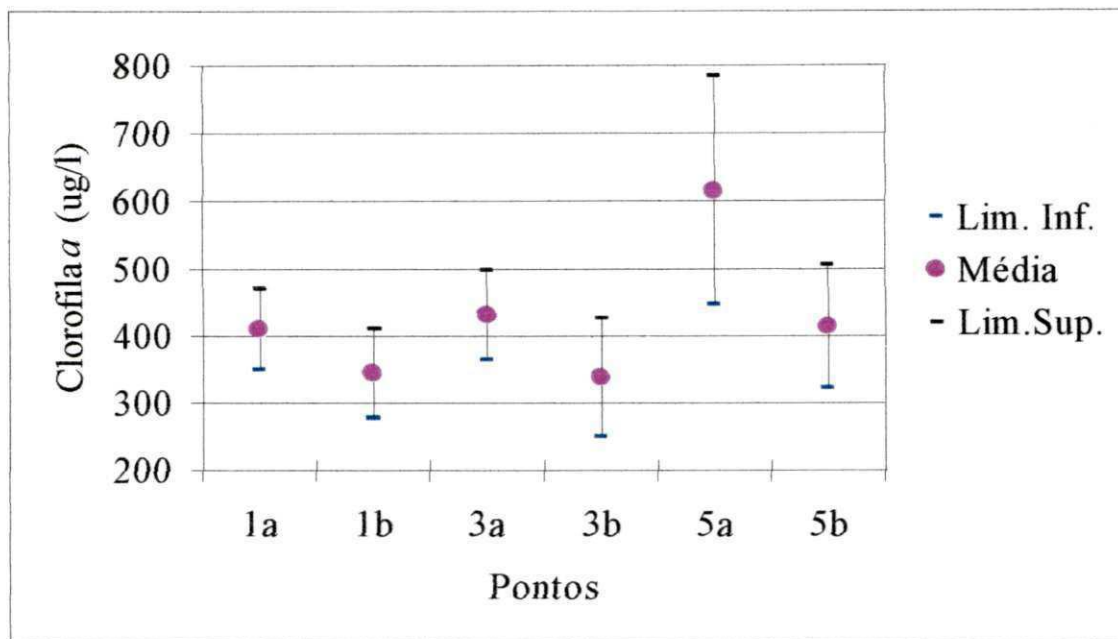


Figura 4.13 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila *a* na lagoa F29 (turno manhã).

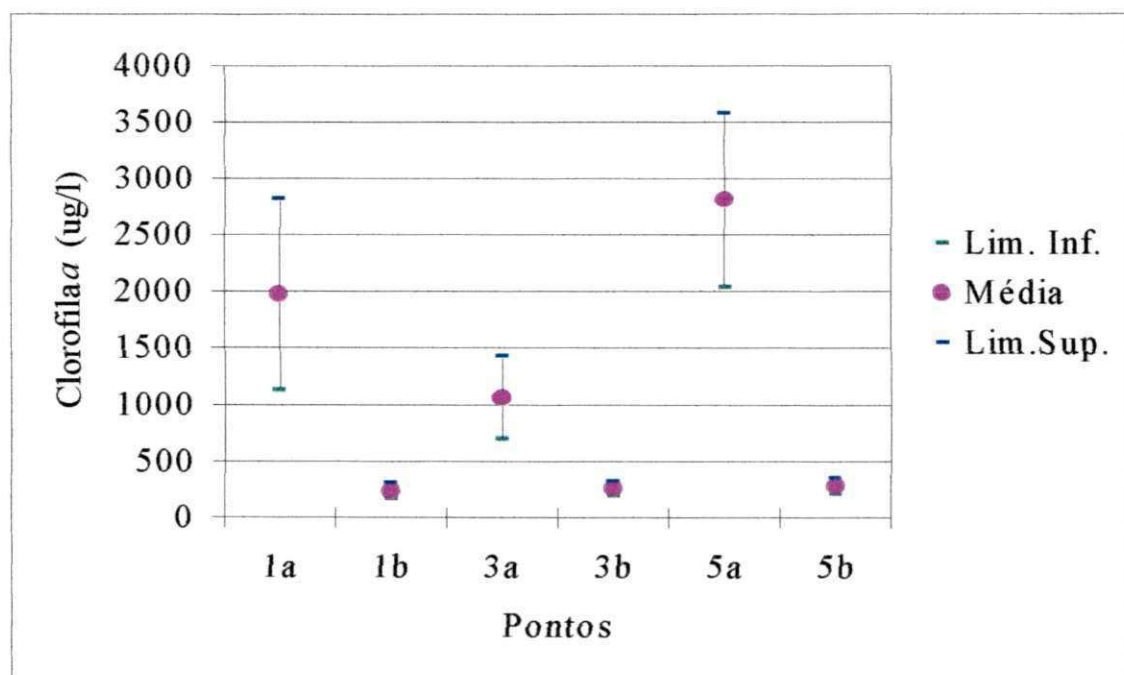


Figura 4.14 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila *a* na lagoa F29 (turno tarde).

4.3 Estudo de matrizes correlação dos dados da lagoa F29

A análise de correlação foi feita utilizando os dados brutos e as médias dos parâmetros analíticos e algológicos medidos nos três pontos (1, 3 e 5) e no dois níveis (5 e 200 cm) na massa líquida da lagoa facultativa primária F29 do sistema experimental 1, nos dois turnos, sendo correlacionadas as variáveis físico-químicas e algológicas (clorofila *a*), para a determinação de correlações estatisticamente significantes.

As matrizes de correlação de variáveis com base nos dados brutos são mostradas nas Tabelas 4.22 - 4.28 e resumem os coeficientes de correlação entre variáveis definidos para diferentes conjuntos de dados. Assim, a Tabela 4.22 contém os coeficientes determinados para os dados brutos coletados nos distintos pontos (1, 3 e 5) nos dois níveis (5 e 200 cm) no turno da manhã. A Tabela 4.23 apresenta a matriz de coeficientes de correlação para o conjunto dos dados brutos correspondente ao período da tarde. Os dois conjuntos de dados (manhã e tarde) deram origem à matriz correlação apresentada na Tabela 4.24. As Tabelas 4.25 e 4.26 apresentam as matrizes de coeficientes de correlação para os conjuntos dos dados brutos correspondentes a superfície da manhã e da tarde, respectivamente. As duas últimas tabelas da seqüência apresentam, respectivamente, os coeficientes que correlacionam as variáveis medidas nas amostras coletadas nas camadas superficial (Tabela 4.27) e profunda (Tabela 4.28).

A seqüência das Tabelas 4.29 - 4.33 apresenta as matrizes de coeficientes de correlação definidos para a massa líquida com base em valores médios. Assim, a Tabela 4.29 contém os coeficientes determinados para o turno da manhã com base no conjunto de médias de variáveis determinadas para cada nível, em cada ponto, com os dados dos 12 experimentos levados a efeito no período experimental. A análise de um conjunto análogo de médias definido para o turno da tarde deu origem à matriz apresentada na Tabela 4.30. A Tabela 4.31, resume

os coeficientes de correlação do conjunto das médias dos turnos da manhã e da tarde e as tabelas subsequentes completam o conjunto das matrizes de correlação com base nas médias das variáveis medidas nos níveis 5 e 200 cm, respectivamente.

Nas duas seqüências de matrizes o turno da tarde apresentou sempre um maior número de coeficientes de correlação significativos ao nível de significância (α) de 0,05. Nesse período, a análise dos dados brutos forneceu um total de 72% de coeficientes significativos enquanto que na matriz resultante das médias todos os coeficientes foram significativos. A análise dos dados do turno da manhã (50%, dados brutos e 11,1%, médias) e do conjunto dos dados coletados no nível 200 cm (33,3%, dados brutos e 19,4%, médias) forneceu os menores número de correlações significativas.

A comparação de cada matriz correlação originária dos dados brutos com a sua correspondente baseada na análise de médias mostrou, de um modo geral, elevada concordância em termos de sinais (+, -), particularmente nas matrizes de correlação do turno da tarde, conjunto manhã e tarde e conjunto manhã e tarde do nível 5 cm. Dessas matrizes, é possível a observação de correlação significativa positiva entre temperatura e OD, pH, clorofila *a*, DBO_{5Bruta} e DQO_{Bruta} o que reflete a importância do processo da fotossíntese do fitoplâncton ao longo do período mais iluminado (também mais quente) do ciclo diário, especialmente nas camadas mais superficiais da lagoa, resultando em maiores concentrações de biomassa, OD, DBO e DQO devido ao fitoplâncton e aumento de pH. As correlações significativas de glicose ocorreram particularmente à tarde estando aquela variável diretamente (positivamente) correlacionada com, praticamente, todas as variáveis indicadoras da presença do fitoplâncton (OD, pH, DBO_{5Bruta}, DQO_{Bruta} e clorofila *a*) e também com temperatura. Embora essa correlação positiva só tenha ocorrido com DQO_{Bruta} e clorofila *a*, na matriz originária das médias (Tabela 4.30) torna-se possível concluir pela associação de

glicose com a dinâmica da biomassa de algas e cianobactérias na massa líquida. Isto é, a maior biomassa de fitoplâncton parece contribuir para o aumento de glicose solubilizada na massa líquida, talvez em consequência de um processo de “perda” de polissacarídeos através da membrana celular dos constituintes do fitoplâncton (de Oliveira, 1990).

Tabela 4.22 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Manhã).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,41525	1							
pH	-0,4512	-0,4119	1						
DBO ₅ (Bruta)	-0,16975	0,2683	0,3628	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,39004	0,5532	-0,5976	0,46956	1				
DQO _(Bruta)	0,64351	0,2334	-0,0489	0,15714	0,50177	1			
DQO _(Filtrada)	0,65159	0,2003	-0,384	-0,14912	0,45624	0,40891	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,14131	-0,1416	0,3753	0,22023	0,00281	0,23607	-0,28063	1	
Glicose	-0,00483	-0,2435	0,0822	-0,16407	-0,1257	0,02153	-0,25778	-0,1621236	1

Tabela 4.23 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,74732	1							
pH	0,69411	0,8711	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,5487	0,4259	0,4064	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,55512	-0,558	-0,6458	-0,13917	1				
DQO _(Bruta)	0,55815	0,6154	0,6461	0,63592	-0,47604	1			
DQO _(Filtrada)	-0,16754	-0,3424	-0,2409	0,05401	0,1326	-0,11701	1		
Clorofila <i>a</i>	0,47883	0,5876	0,5544	0,42127	-0,64089	0,75543	-0,12795	1	
Glicose	0,40187	0,2959	0,3071	0,23659	0,06637	0,19589	0,17521	0,18859	1

Tabela 4.24 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29 (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,78308	1							
pH	0,70604	0,8885	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,30475	0,3207	0,3404	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,3821	-0,4616	-0,5812	0,02373	1				
DQO _(Bruta)	0,62008	0,6486	0,6602	0,45024	-0,3587	1			
DQO _(Filtrada)	-0,02189	-0,2689	-0,2592	-0,08341	0,16469	-0,04283	1		
Clorofila <i>a</i>	0,51925	0,6395	0,6144	0,32459	-0,5201	0,75667	-0,15989	1	
Glicose	0,09769	0,0778	0,1061	-0,03491	-0,0313	0,06982	-0,07841	0,04502	1

Tabela 4.25 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Manhã).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,40254	1							
pH	-0,60782	-0,4224	1						
DBO ₅ (Bruta)	-0,19811	0,2514	0,4197	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,9007	0,56276	-0,6576	0,80232	1				
DQO _(Bruta)	0,78500	0,2877	-0,3002	0,07073	0,73442	1			
DQO _(Filtrada)	0,68515	0,1235	-0,3477	-0,09382	0,37907	0,48738	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,01632	-0,0763	0,2673	0,08735	0,01367	0,24388	-0,21376	1	
Glicose	-0,00059	-0,2786	0,0401	-0,15613	-0,1528	0,00707	-0,25203	-0,2321	1

Tabela 4.26 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,3873	1							
pH	0,2243	0,2980	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,4348	0,1848	0,0883	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,0560	-0,0536	-0,4276	-0,0948	1				
DQO _(Bruta)	0,1696	0,1410	0,2272	0,6476	-0,4298	1			
DQO _(Filtrada)	0,0225	-0,3371	0,0981	0,0696	-0,2527	0,20212	1		
Clorofila <i>a</i>	0,0765	0,0784	-0,1396	0,3362	-0,5389	0,61427	0,11054	1	
Glicose	0,3777	0,1277	0,1780	0,0972	-0,0094	0,07152	0,13547	0,03398	1

Tabela 4.27 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 5 cm (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,80551	1							
pH	0,75497	0,8614	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,34058	0,329	0,3418	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,5158	-0,5345	-0,6691	-0,0472	1				
DQO _(Bruta)	0,57784	0,5597	0,5832	0,49338	-0,4283	1			
DQO _(Filtrada)	-0,07202	-0,3405	-0,2651	-0,108	-0,0535	0,02197	1		
Clorofila <i>a</i>	0,48833	0,5338	0,488	0,34618	-0,5647	0,72677	-0,11963	1	
Glicose	0,03338	-0,0565	-0,0426	-0,09474	-0,0265	-0,01986	-0,08604	-0,059713	1

Tabela 4.28 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos na lagoa F29, a 200 cm (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,11286	1							
pH	-0,41457	-0,3048	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,06204	0,1396	0,1475	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,22827	0,32788	-0,5149	0,37391	1				
DQO _(Bruta)	0,31186	0,074	-0,0605	0,30345	0,10287	1			
DQO _(Filtrada)	0,29634	0,2392	-0,2436	0,00427	0,41147	0,06295	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,52231	-0,1264	0,4537	0,09512	-0,5071	-0,00478	-0,29211	1	
Glicose	-0,03814	-0,1077	0,0312	-0,08403	0,12922	-0,12387	0,00503	-0,19315	1

Tabela 4.29 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Manhã).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,45329	1							
pH	0,70676	-0,1336	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,05063	-0,8075	0,6828	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,5243	-0,1091	0,82765	0,57416	1				
DQO _(Bruta)	0,78376	-0,0103	0,9609	0,56777	0,65935	1			
DQO _(Filtrada)	-0,49163	0,0257	-0,6134	-0,31361	-0,4237	-0,5918	1		
Clorofila <i>a</i>	0,68185	0,0304	0,8389	0,43141	0,55954	0,85548	-0,91725	1	
Glicose	0,31588	-0,2659	0,6826	0,65842	0,55807	0,66996	0,12669	0,23578	1

Tabela 4.30 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO ₁ (Bruta)	DQO ₁ (Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,98023	1							
PH	0,99528	0,989	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,84936	0,9209	0,863	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,97958	-0,9711	-0,9724	-0,89354	1				
DQO ₁ (Bruta)	0,88763	0,9527	0,8989	0,98649	-0,91209	1			
DQO ₁ (Filtrada)	-0,86745	-0,9186	-0,8889	-0,96171	0,90143	-0,92889	1		
Clorofila <i>a</i>	0,86696	0,9266	0,8679	0,9785	-0,9042	0,99169	-0,89794	1	
Glicose	0,87163	0,9085	0,8671	0,92392	-0,94081	0,93588	-0,86455	0,9489	1

Tabela 4.31 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29 (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO ₁ (Bruta)	DQO ₁ (Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,95084	1							
PH	0,94858	0,9906	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,81246	0,9137	0,8786	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,87218	-0,9381	-0,9324	-0,84154	1				
DQO ₁ (Bruta)	0,85192	0,9532	0,918	0,97699	-0,88174	1			
DQO ₁ (Filtrada)	-0,87651	-0,9033	-0,8869	-0,90967	0,80953	-0,90045	1		
Clorofila <i>a</i>	0,83657	0,9327	0,8929	0,96847	-0,87788	0,99228	-0,88561	1	
Glicose	0,20959	0,4013	0,4148	0,55853	-0,39717	0,52587	-0,29065	0,51506	1

Tabela 4.32 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29, a 5 cm (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,98283	1							
PH	0,9969	0,9892	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,83234	0,9012	0,8349	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,97761	-0,9674	-0,9668	-0,87015	1				
DQO _(Bruta)	0,86077	0,9318	0,8703	0,99230	-0,88744	1			
DQO _(Filtrada)	-0,91112	-0,926	-0,9116	-0,89989	0,90760	-0,9062	1		
Clorofila <i>a</i>	0,82989	0,8995	0,8331	0,99844	-0,87199	0,99245	-0,90946	1	
Glicose	-0,34681	-0,2506	-0,3578	0,05458	0,20968	0,00708	0,36837	0,0385	1

Tabela 4.33 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios na lagoa F29, a 200 cm (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	-0,86781	1							
pH	-0,6108	0,8583	1						
DBO ₅ (Bruta)	-0,2654	-0,1989	-0,4905	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,77583	-0,6792	-0,5602	0,01956	1				
DQO _(Bruta)	-0,73816	0,6462	0,1994	0,41099	-0,37534	1			
DQO _(Filtrada)	-0,2057	0,4124	0,7758	-0,63089	-0,51053	-0,39134	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,77569	0,9778	0,8962	-0,38613	-0,67562	0,51124	0,52596	1	
Glicose	-0,72064	0,5562	0,4495	0,02935	-0,83433	0,19053	0,46035	0,57444	1

Valor em negrito corresponde a correlação significativa ($\alpha = 0,05$)

Capítulo 5

5 – Análise e apresentação dos resultados da série de 5 lagoas

5.1 Análise estatística descritiva dos resultados da série de lagoas

Nesta secção é apresentada a análise dos dados relativos às coletas feitas no período de 18/04 a 27/10/2000, às 6 h 30 min e às 13 h 30 min, nos efluentes das (5) cinco lagoas em série, no sistema experimental 2.

5.1.1 Identificação do fitoplâncton

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram as frequências de aparecimento dos gêneros de algas e cianobactérias, obtidas nas amostras dos efluentes, ao longo da série de lagoas, no período de 18/04 a 27/10/2000 sendo a Figura 5.1 referente ao turno da manhã e a Figura 5.2 ao turno da tarde respectivamente.

Com base nos dados de identificação do fitoplâncton em 9 experimentos levados a efeito nos efluentes das 5 lagoas (A1, F1, M1, M2 e M3), nos dois turnos, foi possível verificar 3 gêneros de algas, *Euglena*, *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys* e 2 gêneros de cianobactérias, *Oscillatoria* e *Synechocystis*, que foram predominantes em todos os experimentos. Considerando que em cada período do ciclo diário era coletada 1 amostra no efluente de cada lagoa, em cada data de coleta, foram analisadas 45 amostras representativas do turno da manhã e 45 representativas do turno da tarde.

Dentre os organismos identificados nas lagoas no período de investigação, os gêneros de algas, *Euglena*, *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys* e as cianobactérias, *Oscillatoria* e *Synechocystis*, foram observados em todas as amostras das 5 lagoas, tanto no período da manhã como no período da tarde.

As frequências (7 e 4 vezes) para o gênero *Scenedesmus*, foram observadas nas lagoas M2 e M3, respectivamente, no turno da manhã, e (1, 5 e 4 vezes) no turno da tarde, nas lagoas M1, M2 e M3. O gênero *Diatoma*, foi identificado respectivamente, 1, 3, 4, 6 e 3 vezes, no turno da manhã, e 2, 2, 5, 5 e 2 vezes à tarde nas 5 lagoas da série. *Ankistrodesmus*, apareceu nos efluentes das lagoas M1 (2 vezes), M2 (5 vezes) e M3 (4 vezes), no turno da manhã e foi identificado no período da tarde, nas lagoas, F1 (uma vez), M1 e M2 (2 vezes) e M3 (4 vezes).

Os gêneros *Chlorella*, *Micractinium*, *Oocytis* e *Pandorina* foram esporadicamente identificados nas lagoas. Todos os gêneros de algas citados podem ter contribuído para a concentração de clorofila *a*.

De uma maneira geral, na lagoa anaeróbia (A1), foram observados 4 gêneros de algas e 2 gêneros de cianobactérias. Na lagoa facultativa secundária (F1), 4 gêneros de algas e 2 gêneros de cianobactérias pela manhã, enquanto à tarde foram observados, 5 gêneros de algas e 2 gêneros de cianobactérias. Nas lagoas de maturação, pela manhã, foram identificados 6 gêneros de algas, sendo 5 gêneros na M1 e 6 gêneros nas lagoas M2 e M3, e 2 gêneros de cianobactérias nas lagoas M1 e M3. À tarde, foram identificados 9 gêneros de algas, sendo 6 gêneros na lagoa M1, 7 gêneros nas lagoas M2 e M3 e 2 gêneros de cianobactérias nas lagoas M1, M2 e M3.

As frequências (%) dos gêneros de algas e cianobactérias nas lagoas, como mostram as Figuras 5.1 e 5.2 variaram de lagoa para lagoa, ocorrendo que, ao maior tempo de detenção hidráulica acumulado e a diminuição da carga orgânica correspondeu um maior número de gêneros de algas, confirmado o que já havia sido relatado por grande número de pesquisadores, entre os quais König (1984), sobre a diversidade do fitoplâncton em séries de lagoas tratando esgotos domésticos, nos trópicos.

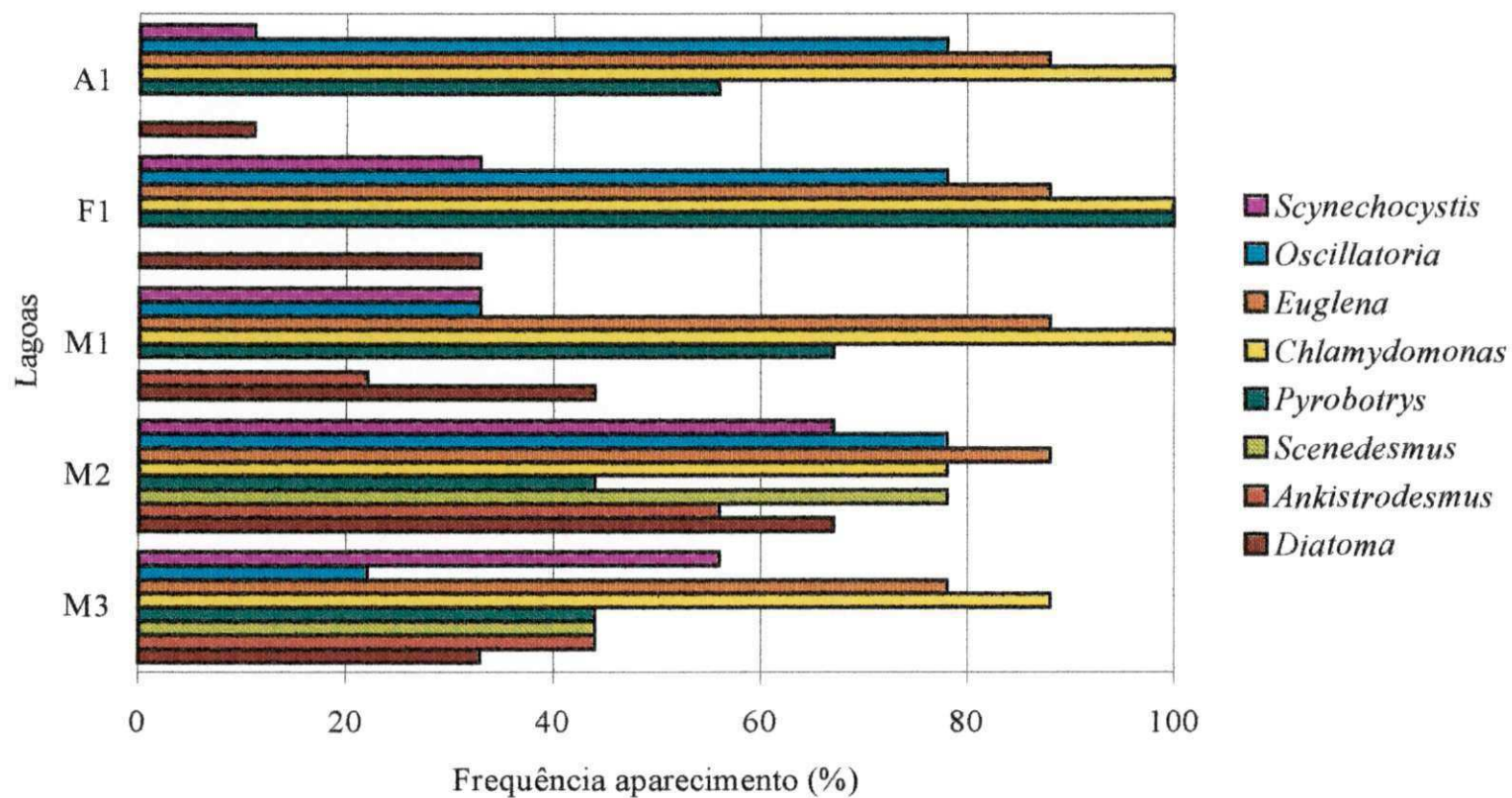


Figura 5.1 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 18/04 a 27/10/2000, com amostras coletadas nos efluentes na série de 5 (cinco) lagoas em série, pela manhã 6 h 30 min.

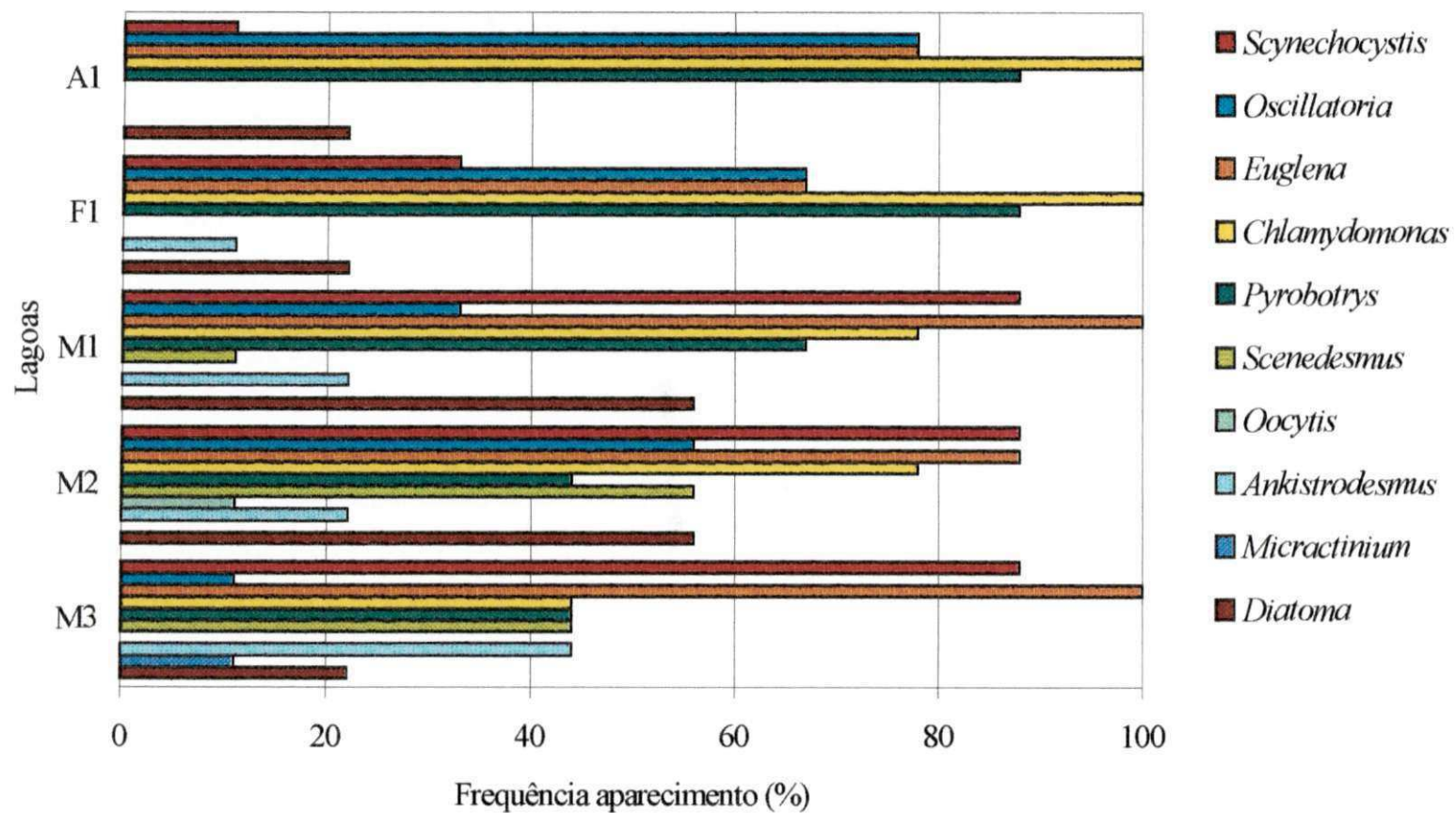


Figura 5.2 – Frequência de aparecimento (%) de representantes do fitoplâncton, de 18/04 a 27/10/2000, com amostras coletadas r efluentes na série de 5 (cinco) lagoas em série, a tarde 13 h 30 min.

5.1.2 Contagem de organismos do fitoplâncton

Nas amostras dos efluentes das 5 lagoas, foram encontrados organismos do fitoplâncton dos Phyla Cyanophyta, Euglenophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta. Durante todo o período experimental, foram predominantes os gêneros *Euglena*, *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys* tendo sido evidenciados as cianobactérias *Oscillatoria* e *Synechocystis*. Logo, na descrição dos valores de contagem, será dada maior ênfase àqueles referentes aos gêneros predominantes. Os dados de contagem de organismos do fitoplâncton estão na Tabela 5.1.

Primeiramente, pela manhã, as faixas do número de *Euglena*, foram de zero (ausência) a $2,5 \times 10^2$ UPC/ml (mínimo), $7,5 \times 10^2$ a 680×10^2 UPC/ml (máximo) e de $1,28 \times 10^2$ a $82,5 \times 10$ UPC/ml (médias) entre as lagoas, sendo os menores valores obtidos na lagoa A1, e maiores valores obtidos na lagoa M1, com um valor médio de $82,5 \times 10^2$ UPC/ml.

As faixas obtidas do gênero *Chlamydomonas*, foram as maiores, tendo esse número, variando de zero (ausência) a 37×10^2 UPC/ml, em termos de valores mínimos, 143×10^2 a 1245×10^2 UPC/ml (máximo) e de $27,4 \times 10^2$ a $238,11 \times 10^2$ UPC/ml (médios), tendo os maiores valores sido obtidos na lagoa de maturação M2, com um valor médio de $193,94 \times 10^2$ UPC/ml.

O gênero *Pyrobotrys*, apresentou uma pequena faixa, de zero (ausência) a $21,5 \times 10^2$ UPC/ml (máximo), e demonstrando os maiores valores obtidos na lagoa M2.

A cianobactéria *Oscillatoria*, foi predominante nas lagoas, no entanto o número de organismos foi baixo, numa faixa de valores de zero (mínimo) a $2,5 \times 10^2$ UPC/ml (máximo), tendo as maiores médias sido obtidas nas lagoas F1 e M1 ($0,39 \times 10^2$ UPC/ml) e M2 ($0,67 \times 10^2$ UPC/ml). Ainda pela manhã, *Synechocystis*, embora ocorrendo com praticamente a mesma freqüência de *Oscillatoria*, apresentou faixa de valores bem superior e forma diferenciada nas lagoas, variando de zero (mínimo) a 35×10^2 UPC/ml, obtidas nas duas primeiras lagoas (A1 e F1) e variando de 1550×10^2 a 1950×10^2 UPC/ml em termos de

máximos, nas lagoas de maturação (M1, M2 e M3), com uma tendência central de $186,67 \times 10^2$, $365,56 \times 10^2$ e $522,78 \times 10^2$ UPC/ml nas respectivas lagoas.

Scenedesmus, *Ankistrodemus* e *Diatoma*, 3 gêneros de algas de frequência relativamente baixa, tiveram também um número reduzido, variando numa faixa de valores máximos de $0,5 \times 10^2$ a 5×10^2 UPC/ml nas lagoas de maturação e com faixa de valores médios de $0,06 - 0,94 \times 10^2$ UPC/ml, para o gênero *Scenedesmus*. A faixa de valores máximos de $0,5 \times 10^2$ a $8,5 \times 10^2$ UPC/ml foi obtida entre as lagoas facultativa e as três de maturação, para o gênero *Ankistrodemus*, sendo os maiores valores observados na última lagoa de maturação. Para o gênero *Diatoma*, a faixa de valores foi de zero (ausência) (mínimo) a 2×10^2 UPC/ml (máximo) variando entre a lagoa facultativa e as de maturação, com a lagoa M2 tendo os maiores valores.

À tarde, as faixas do número dos organismos obtidas foram maiores comparadas com as faixas do turno da manhã, em todas as lagoas. O gênero *Euglena*, em termos de valores mínimos variou de zero (ausência) a $5,0 \times 10^2$ UPC/ml, em termos de máximos, de 55×10^2 a $607,5 \times 10^2$ UPC/ml, com uma tendência central para uma faixa de $11,61 \times 10^2$ a $94,67 \times 10^2$ UPC/ml entre as cinco lagoas, sendo os maiores valores obtidos na lagoa F1, com um valor médio de 94×10^2 UPC/ml. E com os menores obtidos na lagoa M3, com média $11,61 \times 10^2$ UPC/ml.

As faixas do número do gênero *Chlamydomonas*, como no turno da manhã, foram também bem superiores, entre as algas, em termos de valores mínimos a variação foi de zero (ausência) a $72,5 \times 10^2$ UPC/ml, e os máximos de $27,5 \times 10^2$ a 1060×10^2 UPC/ml, com médias de $8,28 \times 10^2$ a $333,72 \times 10^2$ UPC/ml, sendo os maiores valores obtidos na lagoa facultativa F1, com um valor médio de $333,72 \times 10^2$ UPC/ml. Na lagoa A1, também foi identificada um grande número de células em termos de máxima ($527,5 \times 10^2$ UPC/ml), diferentemente do efluente da M3, que teve os menores valores. O gênero *Pyrobotrys*, apresentou faixas de valores de número de células, que variaram em termos de

médias de $0,11 \times 10^2$ a $6,56 \times 10^2$ UPC/ml e em termos máximos de $0,5 \times 10^2$ a $49,5 \times 10^2$ UPC/ml, sendo os maiores obtidos na lagoa M1.

O número de cianobactéria *Oscillatoria*, foi considerado baixo, como no turno da manhã, numa faixa de valores variando de zero (ausência) a $5,5 \times 10^2$ UPC/ml nas 5 lagoas. Com relação aos gêneros *Synechocystis*, com praticamente a mesma freqüência de *Oscillatoria*, a faixa de valores máximos foi bem superior, principalmente nas lagoas de maturação, variando de 1100×10^2 a 2060×10^2 UPC/ml, com os respectivos valores médios $446,39 \times 10^2$, $633,33 \times 10^2$ e $807,78 \times 10^2$ UPC/ml.

Scenedesmus, *Ankistrodemus* e *Diatoma*, 3 gêneros de algas, que demonstraram freqüências baixas em todo o experimento, variaram respectivamente, numa faixa média de $1,0 \times 10^2$ a $7,0 \times 10^2$ UPC/ml compreendendo as lagoas de maturação (M2 e M3), de $0,5 \times 10^2$ a $7,5 \times 10^2$ UPC/ml compreendendo as lagoas facultativa e de maturação, e de $0,5 \times 10^2$ a $2,5 \times 10^2$ UPC/ml em todas as lagoas.

Todos valores aqui apresentados foram obtidos em estudos realizados às 6 h 30 min, estando a massa líquida das lagoas refletindo ainda a situação da noite anterior, e às 13 h 30 min, refletindo uma condição estabelecida durante a manhã no qual há intensa luminosidade, promovendo a fotossíntese e a produção de grande quantidade de oxigênio.

Os resultados mostram os gêneros de algas que foram identificadas nas lagoas nos dois turnos, destacando - se os gêneros *Euglena*, *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys* (algas flageladas), que são as mais freqüentes, por serem mais tolerantes à poluição orgânica e a algumas espécies químicas tóxicas (Pearson *et al.*, 1987, de Oliveira, 1990) e os gêneros, *Scenedesmus*, *Ankistrodemus* e *Diatoma* (algas não flageladas) menos freqüentes. Palmer (1969), confirma os gêneros de algas encontrados neste trabalho. Os níveis de amostragem trabalhadas foram sempre os efluentes das lagoas. Silva (1982), investigando uma série de 5 lagoas (anaeróbia, facultativa e 3 de maturação) no Nordeste do Brasil, com profundidade de 1,5 m, tempo de detenção hidráulica cumulativo de 8,5 a 29,1

Tabela 5.1 – Parâmetros estatísticos descritivos para os dados de contagem dos gêneros de algas do fitoplânctico, com amostras coletadas nos efluentes na série de 5 (cinco) lagoas, no período de 18/04 a 27/10/2000. As concentrações são expressas na forma $C \times 10^2$ UPC/ml.

		<i>Manhã</i>						<i>Tarde</i>					
		E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
<i>Synechocistis</i>	<i>Média (x)</i>	0	3,89	9,44	186,67	365,56	522,78	0	0	3,89	446,39	633,33	807,78
	<i>Mediana (Md)</i>	0	0	0	20	75	110	0	0	0	85	730	950
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0	7,82	14,5	511,74	624,32	795,7	0	0	7,82	675,97	353,51	587,6
	<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	220	120
	<i>Máximo (Max)</i>	0	20	35	1550	1750	1950	0	0	20	2060	1100	2050
	<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<i>Oscillatoria</i>		E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
	<i>Média (x)</i>	0,17	0,11	0,39	0,39	0,67	0,06	0,17	0,56	1,11	0,72	0,22	0,44
	<i>Mediana (Md)</i>	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,5	0,22	0,7	0,82	0,71	0,17	0,35	0,98	2,1	1,8	0,26	0,85
	<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Máximo (Max)</i>	1,5	0,5	2	2,5	2	0,5	1	3	5,5	5,5	0,5	2,5
<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<i>Euglena</i>		E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
	<i>Média (x)</i>	0,22	1,28	66,61	82,5	8,5	4,72	0,06	13,75	94	94,67	50,33	11,61
	<i>Mediana (Md)</i>	0	0,5	20	6,5	3	1	0	0,75	13	72,5	35	6
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,36	2,43	152,62	224,15	15,13	8,16	0,17	36,08	195,6	88,7	57,77	17,08
	<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	2,5	0	0	0	0	0	5	1,5	2	0
	<i>Máximo (Max)</i>	1	7,5	472,5	680	47,5	25	0,5	103	607,5	235	185	55
<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

(continua)

										<i>Manhã</i>						<i>Tarde</i>					
<i>Chlamydomonas</i>			<i>Pyrobotry</i>			<i>Scenedesmus</i>															
	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3			
<i>Média (x)</i>	0,06	125	238,11	115,5	193,9	27,4	0	258,89	333,72	107,06	10,89	8,28	0	258,89	333,72	107,06	10,89	8,28			
<i>Mediana (Md)</i>	0	90	177,5	130	35	8,5	0	232,5	190	97,5	6,5	0,5	0	232,5	190	97,5	6,5	0,5			
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,17	82,4	233,72	85,432	404,2	47,4	0	161,96	317,37	98,901	11,73	20,43	0	161,96	317,37	98,901	11,73	20,43			
<i>Mínimo (Min)</i>	0	37	32,5	11	0	0	0	72,5	15	0	0	0	0	72,5	15	0	0	0			
<i>Máximo (Max)</i>	0,5	295	800	257,5	1245	143	0	527,5	1060	310	27,5	62,5	0	527,5	1060	310	27,5	62,5			
<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9			
	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3			
<i>Média (x)</i>	0	1,5	1,11	1,22	3,17	1,61	0	1,89	5,56	6,56	0,11	0,28	0	1,89	5,56	6,56	0,11	0,28			
<i>Mediana (Md)</i>	0	0,5	0	0	0	0	0	0	4,5	1	0	0	0	0	4,5	1	0	0			
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0	2,33	2,16	2,94	7,06	3,06	0	3,48	6,39	16,16	0,22	0,57	0	3,48	6,39	16,16	0,22	0,57			
<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Máximo (Max)</i>	0	6	6	9	21,5	8,5	0	8	19	49,5	0,5	1,5	0	8	19	49,5	0,5	1,5			
<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9			
	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3			
<i>Média (x)</i>	0	0	0	0,06	0,44	0,94	0	0	0	0	0,28	1,22	0	0	0	0	0,28	1,22			
<i>Mediana (Md)</i>	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0	0	0	0,17	0,46	1,72	0	0	0	0	0,36	2,37	0	0	0	0	0,36	2,37			
<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Máximo (Max)</i>	0	0	0	0,5	1	5	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	1	7			
<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9			

(continua)

		<i>Manhã</i>						<i>Tarde</i>					
<i>Ankistrodesmus</i>		E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
	<i>Média (x)</i>	0,17	0	0,06	0,22	1,17	1,22	0	0	0,06	0,22	0,83	1,22
	<i>Mediana (Md)</i>	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,5	0	0,17	0,51	1,66	2,77	0	0	0,17	0,44	2,15	2,45
	<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Máximo (Max)</i>	1,5	0	0,5	1,5	4	8,5	0	0	0,5	1	6,5	7,5
	<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
		E.B.	A1	F1	M1	M2	M3	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
<i>Diatoma</i>	<i>Média (x)</i>	0,06	0	0,17	0,17	0,56	0,11	0	0,22	0,33	0,17	0,78	0,06
	<i>Mediana (Md)</i>	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0
	<i>D. padrão (σ_{n-1})</i>	0,17	0	0,35	0,25	0,63	0,22	0	0,67	0,66	0,25	0,83	0,17
	<i>Mínimo (Min)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Máximo (Max)</i>	0,5	0	1	0,5	2	0,5	0	2	2	0,5	2,5	0,5
	<i>E. amostral (n)</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

dias e carga orgânica de 162 a 322 kg DBO₅/ha dia. e de Oliveira (1990) com um sistema piloto de 5 lagoas em série (anaeróbia, facultativa e 3 de maturação) com profundidade de 2.2 m, trabalhando com cargas entre 267 e 400 kgDBO₅/ha.d e tempo de detenção de 25 a 40 dias, descreveram praticamente os mesmos gêneros aqui evidenciados. A presença ou ausência de alguns gêneros de algas nos efluentes podem caracterizar o grau de tratamento das lagoas.

5.1.3 Clorofila *a*

As Tabelas 5.2 e 5.3 mostram os parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) dos turnos manhã e tarde, respectivamente, das 5 lagoas (A1, F1, M1, M2 e M3), em série. A lagoa anacróbia A1, que operava com tempo de detenção hidráulica de 6 dias, apresentou, nos dois períodos concentrações médias de clorofila *a*, de 301.3 $\mu\text{g/l}$ e 653.4 $\mu\text{g/l}$, respectivamente. Deve ser destacada a ocorrência dos valores máximos 453,0 $\mu\text{g/l}$, no turno da manhã e de 1208,0 $\mu\text{g/l}$, à tarde.

No período da manhã, foi observado um valor médio de clorofila *a* no efluente da lagoa F1 de 476.8 $\mu\text{g/l}$, e um valor máximo de 735,0 $\mu\text{g/l}$, enquanto que à tarde a média foi 1490.4 $\mu\text{g/l}$ e o valor máximo 3513,0 $\mu\text{g/l}$, maior valor obtido entre todas as lagoas, no período experimental.

O reator M1, apresentou durante a manhã e a tarde, concentrações médias de clorofila *a* de, respectivamente, 666,0 e 788,0 $\mu\text{g/l}$, sendo os respectivos valores máximos de 1031,0 e 1508,0 $\mu\text{g/l}$.

As concentrações médias de clorofila *a*, observadas no reator M2, foram de 669,5 $\mu\text{g/l}$, no primeiro turno, e 804,5 $\mu\text{g/l}$ no segundo. Os valores máximos atingiram 1552,0 $\mu\text{g/l}$, no primeiro turno, maior valor entre as lagoas de maturação, e 1094,0 $\mu\text{g/l}$ no segundo.

Tabela 5.2 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min ($\mu\text{g/l}$).

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	20,0	301,3	476,8	666,0	669,5	599,6
<i>Mediana (Md)</i>	20,0	335,5	421,5	614,0	567,5	584,5
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	13,6	127,3	181,1	289,5	375,6	191,3
<i>Mínimo</i>	3,0	96,0	258,0	280,0	388,0	262,0
<i>Máximo</i>	42,0	453,0	735,0	1031,0	1552,0	950,0
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

A lagoa de maturação M3, durante os dois períodos (manhã e tarde), apresentou concentrações médias de 599.6 e 652.8 $\mu\text{g/l}$, respectivamente, sendo os respectivos valores máximos de 950.0 $\mu\text{g/l}$, no turno da manhã e 1012.0 $\mu\text{g/l}$, à tarde.

Tabela 5.3 - Parâmetros estatísticos descritivos para clorofila *a* numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min ($\mu\text{g/l}$).

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	21,4	653,4	1490,4	788,1	804,5	652,8
<i>Mediana (Md)</i>	21,0	580,0	1412,0	698,0	814,0	775,0
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	8,6	376,5	1051,7	368,2	178,1	311,8
<i>Mínimo</i>	10,0	235,0	94,0	241,0	526,0	234,0
<i>Máximo</i>	34,0	1208,0	3513,0	1508,0	1094,0	1012,0
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

5.1.4 Temperatura

As Tabelas 5.4 e 5.5 mostram os parâmetros estatísticos descritivos da temperatura, durante os dois períodos nas cinco lagoas. Em 8 experimentos

efetuados pela manhã, as temperaturas observadas nos efluentes das lagoas variaram, de 21 a 24 °C, enquanto à tarde, também em 8 experimentos, a faixa de variação foi maior, de 24,5 a 30,0 °C.

Tabela 5.4 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura (°C) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	23,7	22,3	22	21,9	21,9	21,8
<i>Mediana (Md)</i>	24	22	21,7	21,5	21,8	21,5
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	1,6	1,0	1,1	1,0	1,1	0,93
<i>Mínimo</i>	21	21	21	21	21	21
<i>Máximo</i>	25	24	24	23,5	24	23,5
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

Na monitoração do efluente da lagoa anaeróbia, durante o turno da manhã, a temperatura média foi de 22,3 °C, atingindo o valor máximo de 24 °C, enquanto que à tarde, a temperatura média foi de 27,6 °C, chegando a um máximo de 29 °C.

Na lagoa facultativa secundária F1, as temperaturas médias observadas nos turnos manhã e tarde foram de 22,0 e 26,4 °C, atingindo máximas de 24 e 28,5 °C, respectivamente.

Tabela 5.5 - Parâmetros estatísticos descritivos para temperatura (°C) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	26,4	27,6	26,4	27,3	27,4	26,6
<i>Mediana (Md)</i>	26	28	26,8	28	27,5	27
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	1,6	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5
<i>Mínimo</i>	24,5	25,5	24,5	25	26	25
<i>Máximo</i>	30	29	28,5	29	30	29
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

Nas lagoas de maturação M1, M2 e M3, pela manhã, a temperatura média das três lagoas foi em torno de 22 °C, enquanto que, no turno da tarde, as temperaturas médias foram de 27,3, 27,4 e 26,6 °C, respectivamente. Nestas, lagoas, foram registradas temperaturas máximas entre 29,0 e 30,0 °C.

As altas temperaturas registradas, podem ser explicadas pela maior exposição das camadas superiores à penetração dos raios solares, principalmente no turno da tarde, hora de maior insolação. A faixa das temperaturas, medidas na série, neste trabalho, contém os valores obtidos por Silva (1982), de Oliveira (1990), de Sousa (1988) e Ferreira (1988).

5.1.5 pH

As Tabelas 5.6 e 5.7 mostram os parâmetros estatísticos descritivos de pH, nos efluentes em cada reator do sistema experimental 2, durante os turnos manhã e tarde. No primeiro turno do ciclo diário, o valor médio de pH nas lagoas, teve um crescimento praticamente uniforme, sendo que no efluente do reator A1, o pH foi de 7,44, enquanto que, no segundo turno, o valor médio foi de 7,89, chegando a um máximo de 8,25, e os valores das medianas foram de 7,45 e 7,98, de manhã e à tarde respectivamente. Já na lagoa facultativa F1, os valores médios de pH foram de 7,78 e 8,26, respectivamente, para o primeiro e segundo turnos.

Tabela 5.6 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	7,75	7,44	7,78	8,01	8,28	8,47
<i>Mediana (Md)</i>	7,83	7,45	7,8	8	8,22	8,44
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,18	0,12	0,16	0,19	0,29	0,41
<i>Mínimo</i>	7,55	7,26	7,56	7,78	7,87	7,97
<i>Máximo</i>	7,98	7,59	7,99	8,24	8,73	9,12
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

No turno da manhã, na lagoa M1, o valor médio de pH medido foi de 8,01, enquanto que no turno da tarde o valor médio desse parâmetro foi de 8,66, com um valor máximo de 8,88.

As lagoas M2 e M3 apresentaram, durante o turno da manhã, valores médios respectivos, de 8,28 e 8,47, enquanto que no turno da tarde, a lagoa M2 apresentou um valor médio de 9,20 e a lagoa M3 9,19. Com relação à mediana nas respectivas lagoas, as faixas foram de 8,22 a 8,44 pela manhã e de 9,21 a 9,33 à tarde.

Comparados os valores do pH nos dois turnos nas lagoas, os valores da tarde foram maiores, sendo os altos valores de pH, atingidos, durante o dia, indicativos de uma maior atividade fotossintética do fitoplâncton. Os baixos valores de pH, estão associados a hora de coleta (tarde), condições anaeróbias e altas cargas orgânicas. A faixa de valores de pH obtida neste trabalho, contém os valores obtidos por Silva (1982), de Oliveira (1990), de Sousa (1988) e Ferreira (1988).

Tabela 5.7 - Parâmetros estatísticos descritivos para pH numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>AI</i>	<i>FI</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	7,46	7,89	8,26	8,66	9,20	9,19
<i>Mediana (Md)</i>	7,35	7,98	8,09	8,69	9,21	9,33
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,31	0,34	0,60	0,19	0,59	0,59
<i>Mínimo</i>	7,18	7,35	7,64	8,36	8,5	8,43
<i>Máximo</i>	8,04	8,25	9,42	8,88	9,8	9,87
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

5.1.6 Oxigênio dissolvido

Nas lagoas, durante o turno da manhã, as concentrações de oxigênio dissolvido na série (Tabela 5.8), tenderam a crescer, de lagoa para lagoa, sendo

que nas amostras da primeira lagoa (A1), a média foi de 0,74 mg/l, enquanto que, no turno da tarde (Tabela 5.9), a média observada foi de 1.14 mg/l.

Tabela 5.8 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	0,76	0,74	0,8	1,36	2,04	4,56
<i>Mediana (Md)</i>	0,8	0,65	0,7	1,3	1,5	4,25
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,49	0,52	0,59	0,82	1,55	2,19
<i>Mínimo</i>	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	2,1
<i>Máximo</i>	1,6	1,5	1,7	2,6	4,9	8
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

Na segunda lagoa (F1) as concentrações médias de oxigênio dissolvido nos turnos manhã e tarde, foram de 0,80 e 7,61 mg/l, respectivamente, tendo sido atingidas concentrações máximas de 1,7 mg/l pela manhã e 20 mg/l à tarde.

Tabela 5.9 - Parâmetros estatísticos descritivos para oxigênio dissolvido (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	0,89	1,14	7,61	14,48	16,66	16,21
<i>Mediana (Md)</i>	0,8	0,6	4,75	15,7	17,25	16,3
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	0,78	1,79	8,28	5,11	3,83	3,95
<i>Mínimo</i>	0	0	0	5,4	8	7,9
<i>Máximo</i>	2,5	5,5	20	20	20	20
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

Nas lagoas de maturação M1, M2 e M3, durante o turno da manhã as concentrações médias de oxigênio dissolvido nas amostras dos efluentes foram de 1,36; 2,04 e 4,56 mg/l, sendo as médias da tarde 14,48; 16,66 e 16,21 mg/l, respectivamente. As concentrações máximas nas lagoas de maturação, pela manhã, variaram de 2,6 a 8,0 mg/l. À tarde, as concentrações atingiram mais de

20,0 mg/l. A faixa de valores obtidas neste trabalho, praticamente coincide com as obtidas por de Sousa (1988) e Ferreira (1988).

5.1.7 DBO₅(Bruta)

As concentrações de matéria orgânica biodegradável contidas nos efluentes das lagoas, expressas como DBO₅ (mg/l), são apresentadas nas Tabelas 5.10 e 5.11, que mostram os parâmetros estatísticos descritivos dos dados da manhã e tarde, respectivamente, nas (5) cinco lagoas da série. Na lagoa anaeróbia A1, durante os dois períodos, as variações foram de 44 mg/l (mínimo) até 232 mg/l (máximo), pela manhã, e de 25 mg/l (mínimo) a 261 mg/l (máximo), à tarde, com concentrações médias de 110 mg/l e 82 mg/l, respectivamente.

Durante o primeiro período, foi observado um valor médio de DBO₅(Bruta), no efluente da lagoa F1, de 55 mg/l, e um valor máximo de 185 mg/l, enquanto no segundo período a média foi 68 mg/l e o valor máximo 148 mg/l. O valor da mediana da manhã (42 mg/l), foi menor, comparando com 60 mg/l da tarde.

Tabela 5.10 - Parâmetros estatísticos descritivos para DBO₅(Bruta) (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	128	110	55	46	47	46
<i>Mediana (Md)</i>	63	97	42	31	34	35
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	162	56	55	50	56	51
<i>Mínimo</i>	18	44	14	17	0	4
<i>Máximo</i>	506	232	185	166	179	168
<i>E. amostral (n)</i>	8	8	8	8	8	8

Nas lagoas de maturação (M1, M2 e M3), tanto pela manhã como à tarde, a redução no material orgânico foi considerada pequena. Pela manhã, em termos de concentrações médias de DBO₅ os efluentes das lagoas apresentaram, 46 mg/l (M1), 47 mg/l (M2) e 46 mg/l (M3), com valores máximos respectivos de 166,

179 e 168 mg/l. À tarde, as médias foram 57, 66 e 70 mg/l, nas lagoas M1, M2 e M3, com valores máximos de 145, 121 e 127 mg/l, respectivamente.

Nas três lagoas de maturação M1, M2 e M3, foi possível observar, que houve, no período da tarde, um pequeno aumento da carga orgânica do efluente (M3) em relação, por exemplo à lagoa M1, sendo isso associado ao aumento da biomassa de algas quantificada em termos de clorofila *a*. Os altos valores de $DBO_{5(Bruta)}$ ocorridos coincidem com as máximas concentrações de biomassa de fitoplâncton. Em dias de coleta nos quais a luz solar era muito intensa, as lagoas apresentavam uma forte coloração verde com exceção da A1 que tinha uma

Tabela 5.11 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	366	82	68	57	66	70
<i>Mediana (Md)</i>	386	54	60	47	71	80
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	115	76	37	42	35	39
<i>Mínimo</i>	193	25	33	6	17	7
<i>Máximo</i>	580	261	148	145	121	127
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

aparência cinza escura. Silva (1982), analisando lagoas em série, obteve valores médios de DBO_5 menores na série (A1, F1, M1, M2 e M3), trabalhando de junho/1977 a maio/1979, com tempo de detenção cumulativo de 29,1 dias com profundidade de 1,5 m. De Oliveira (1990) também estudando a mesma série (A1, F1, M1, M2 e M3), mas com profundidade de 2,2 m, em dois experimentos, com tempos de detenção hidráulica de 25 e 40 dias, obteve resultados menores nos dois experimentos, em todas as lagoas.

5.1.8 DBO_{5(Filtrada)}

Em 5 experimentos realizados (de 23/08 a 27/10/2000) nos efluentes das cinco lagoas, foram feitas 20 medidas representativas no turno da manhã e 25 no turno da tarde 13 h 30 min. Os parâmetros estatísticos descritivos das concentrações de DBO_{5(Filtrada)} são mostrados nas Tabelas 5.12 e 5.13, durante todo o período de amostragem, pela manhã e à tarde, respectivamente.

Na lagoa anaeróbia A1, as variações das concentrações de DBO_{5(Filtrada)} foram desde 24 até 72 mg/l pela manhã, e de 14 mg/l a 28 mg/l à tarde, com concentrações médias de 49 e 21 mg/l, respectivamente, manhã e tarde. Em termos de valores de mediana as concentrações de DBO_{5(Filtrada)} foram 50 e 21 mg/l, respectivamente pela manhã e à tarde.

Tabela 5.12 - Parâmetros estatísticos descritivos para DBO_{5(filtrada)} (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	31	49	23	10	14	15
<i>Mediana (Md)</i>	34	50	25	8	12	12
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	14	20	10	9	10	10
<i>Mínimo</i>	12	24	9	3	4	7
<i>Máximo</i>	43	72	33	23	26	30
<i>E. amostral (n)</i>	4	4	4	4	4	4

O valor médio da concentração de DBO_{5(Filtrada)} no efluente da lagoa facultativa (F1) no turno da manhã foi de 23 mg/l, sendo o valor máximo de 33 mg/l. À tarde a média foi 14 mg/l, com um valor máximo de 23 mg/l. A mediana da manhã foi 25 mg/l e da tarde 14 mg/l.

Pela manhã, as concentrações médias de DBO_{5(Filtrada)} nas lagoas de maturação foram 10 (M1), 14 (M2) e 15 mg/l (M3), e os valores máximos, 23 (M1), 26 (M2) e 30 mg/l (M3). À tarde, os valores médios foram de 15, 14 e 13

mg/l, e os valores máximos de 26, 25 e 21 mg/l, em M1, M2 e M3, respectivamente. Comparadas as concentrações médias de $DBO_{5(Filtrada)}$ manhã e tarde, os da manhã foram em média (de 1 a 2 vezes) maiores.

Tabela 5.13 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DBO_{5(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	134	21	14	15	14	13
<i>Mediana (Md)</i>	138	21	14	13	14	14
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	23	6	6	9	9	8
<i>Mínimo</i>	95	14	8	3	2	2
<i>Máximo</i>	156	28	23	26	25	21
<i>E. amostral (n)</i>	5	5	5	5	5	5

5.1.9 $DQO_{(Bruta)}$

As Tabelas 5.14 e 5.15 mostram os parâmetros estatísticos descritivos de $DQO_{(Bruta)}$, verificados nos efluentes em cada reator do sistema experimental 2, durante os turnos manhã e tarde. Ao longo do experimento foi possível observar que a $DQO_{(Bruta)}$ teve um comportamento similar ao observado para a $DBO_{5(Bruta)}$. Na lagoa anaeróbia A1, durante os dois períodos, as variações de $DQO_{(Bruta)}$ foram desde o valor 115 até 299 mg/l pela manhã, e de 166 a 299 mg/l, à tarde, com concentrações médias de 249 e 226 mg/l, respectivamente, manhã e tarde. Na segunda lagoa (F1), as concentrações médias de $DQO_{(Bruta)}$ foram 191 mg/l, pela manhã, e 268 mg/l, à tarde, tendo as concentrações máximas sido de 231, pela manhã, e 395 mg/l, à tarde.

Nas lagoas de maturação, tendo as mesmas áreas superficiais, profundidades e tempos de detenção hidráulica iguais aos das lagoas A1 e F1, as concentrações médias de $DQO_{(Bruta)}$, no turno da manhã, foram de 171 (M1), 166 (M2) e 160 mg/l (M3), com valores máximos, de 208 (M1), 231 (M2) e 183 mg/l (M3). À tarde, os valores médios foram de 259 na lagoa M1, 216 na lagoa

Tabela 5.14 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
<i>Média (x)</i>	209	249	191	171	166	160
<i>Mediana (Md)</i>	203	276	186	174	165	168
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	63	64	24	27	33	24
<i>Mínimo</i>	105	115	160	118	115	111
<i>Máximo</i>	309	299	231	208	231	183
<i>E. amostral (n)</i>	8	8	8	8	8	8

M2 e 195 mg/l na última lagoa da série. O resultado foi semelhante em termos de valores de mediana. As baixas concentrações, tanto pela manhã como à tarde, demonstram uma diminuição gradativa da concentração de matéria orgânica. Silva (1982), obteve valores médios menores na série de lagoas rasas (A1, F1, M1, M2 e M3), trabalhando com tempo de detenção cumulativo de 29,1 dias. De Oliveira (1990), também, estudando numa série de lagoas com profundidade de 2,2 m (A1, F1, M1, M2 e M3), com tempos de detenção hidráulica de 25 dias e 40 dias, obteve resultados menores em todas as lagoas.

Tabela 5.15 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Bruta)}$ (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
<i>Média (x)</i>	699	226	267	259	216	195
<i>Mediana (Md)</i>	785	215	305	220	222	202
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	264	51	98	159	42	40
<i>Mínimo</i>	151	166	96	114	142	130
<i>Máximo</i>	895	299	395	632	288	250
<i>E. amostral (n)</i>	7	8	7	8	8	8

5.1.10 DQO_(Filtrada)

As Tabelas 5.16 e 5.17 mostram os parâmetros estatísticos descritivos de DQO_(Filtrada) (mg/l), verificados nos efluentes de cada lagoa do sistema experimental 2 no período de 18/04 a 27/10/2000, nos turnos manhã e tarde. Ao longo do experimento, foi possível observar que a DQO_(Filtrada) teve comportamento semelhante ao da DQO_(Bruta) e da DBO_{5(Bruta)}, tendo a carga orgânica decrescido da lagoa (A1) para a lagoa (M3). Pela manhã, a lagoa A1 apresentou a faixa de variação 88 mg/l e 201 mg/l, e uma tendência central de 155 mg/l. Em termos de valores médios houve um aumento da carga orgânica, comparado com a DQO_(Filtrada) do esgoto bruto. À tarde, a lagoa A1 reduziu a DQO_(Filtrada) do esgoto bruto de um valor médio 248 mg/l para 125 mg/l.

Tabela 5.16 - Parâmetros estatísticos descritivos para DQO_(Filtrada) (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	73	155	92	75	72	64
<i>Mediana (Md)</i>	77	158	91	70	72	66
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	36	32	24	20	18	24
<i>Mínimo</i>	32	88	56	45	36	21
<i>Máximo</i>	151	201	141	110	94	99
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

O valor médio de DQO_(Filtrada) no efluente da lagoa facultativa (F1), no turno da manhã, foi de 93 mg/l, com 56 e 141 mg/l, de mínimo e máximo, respectivamente. A lagoa F1, apresentou, no turno da manhã, uma redução em termos de valor médio no material orgânico. À tarde a média foi 104 mg/l. O valor da mediana da manhã foi 91 mg/l e à tarde 105 mg/l.

As concentrações de DQO_(Filtrada), foram reduzidas ao longo da série, da lagoa M1 para a lagoa M3, sendo esse comportamento semelhante aos de DBO_{5(Bruta)} e DQO_(Bruta). Pela manhã, as concentrações médias de DQO_(Filtrada) nas

lagoas de maturação foram, de 75 (M1), 72 (M2) e 64 mg/l (M3), e, em termos de valores máximos, foram 110, 94 e 99 mg/l. À tarde, as médias foram 79, 86 e 79 mg/l, os valores máximos de 117, 103 e 101 mg/l, respectivamente nas lagoas M1, M2 e M3.

Tabela 5.17 - Parâmetros estatísticos descritivos para $DQO_{(Filtrada)}$ (mg/l) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	<i>E.B.</i>	<i>A1</i>	<i>F1</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Média (x)</i>	248	125	104	79	86	79
<i>Mediana (Md)</i>	242	119	105	83	81	78
<i>D. Padrão (σ_{n-1})</i>	29	36	27	29	11	16
<i>Mínimo</i>	207	86	64	15	76	61
<i>Máximo</i>	303	183	154	117	103	101
<i>E. amostral (n)</i>	9	8	8	8	8	8

5.1.11 Glicose

Em todo o período experimental as concentrações de glicose, nos dois turnos, tiveram praticamente o mesmo comportamento das concentrações de clorofila *a*, comparadas as mesmas lagoas nas mesmas datas de coleta. As Tabelas 5.18 e 5.19 mostram os parâmetros estatísticos descritivos de glicose ($\mu\text{g/l}$), nos efluentes em cada reator do sistema experimental 2, durante os turnos manhã e tarde. O valor médio de glicose nas lagoas, teve um crescimento praticamente uniforme, nas lagoas, sendo que no efluente do reator A1, a glicose foi de 130 $\mu\text{g/l}$, durante o primeiro turno, enquanto que, no segundo turno, o valor médio foi de 240 $\mu\text{g/l}$, chegando a um máximo de 680 $\mu\text{g/l}$. Os valores das medianas foram de 10 e 280 $\mu\text{g/l}$, respectivamente, pela manhã e à tarde.

Durante o primeiro e o segundo períodos foram observados o valor médio de glicose no efluente da lagoa F1 de 390 $\mu\text{g/l}$ pela manhã, e um valor máximo

de 190 $\mu\text{g/l}$, enquanto no segundo período a média foi 380 $\mu\text{g/l}$ e valor máximo foi 690 $\mu\text{g/l}$.

Tabela 5.18 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da manhã às 6 h 30 min.

	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
Média (x)	700	130	390	350	430	590
Mediana (Md)	270	10	80	260	460	560
D. Padrão (σ_{n-1})	1110	190	650	360	200	390
Mínimo	0	0	0	0	190	100
Máximo	3430	470	1900	1050	710	1190
E. amostral (n)	9	8	8	8	8	8

As lagoas de maturação (M1, M2 e M3) com características físicas iguais às lagoas A1 e F1, apresentaram concentrações médias de glicose crescentes. No turno manhã foram de 350 (M1), 430 (M2) e 590 $\mu\text{g/l}$ (M3), com valores máximos, de 1050 (M1), 710 (M2) e 1190 $\mu\text{g/l}$ (M3). À tarde, os valores médios cresceram de 430 $\mu\text{g/l}$ na lagoa M1 para, 460 $\mu\text{g/l}$ na lagoa M2 e 580 $\mu\text{g/l}$ na lagoa (M3), com os valores máximos de 1080 (M1), 700 (M2) e 1390 $\mu\text{g/l}$ (M3).

Tabela 5.19 - Parâmetros estatísticos descritivos para glicose ($\mu\text{g/l}$) numa série de lagoas, entre 18/04 e 27/10/00 no turno da tarde às 13 h 30 min.

	E.B.	A1	F1	M1	M2	M3
Média	1410	240	380	430	460	580
Mediana	1380	280	410	450	460	490
D. Padrão (σ_{n-1})	260	230	220	340	210	440
Mínimo	1180	0	0	0	70	200
Máximo	1990	680	690	1080	700	1390
E. amostral (n)	9	8	8	8	8	8

O comportamento das concentrações de glicose, pela manhã como à tarde, podem está associados com uma diminuição da concentração de matéria orgânica, em termos de $DBO_{5(Bruta)}$, $DQO_{(Bruta)}$ e $DQO_{(Filtrada)}$, por exemplo.

5.2 Análise de variância aplicada aos dados da série de 5 lagoas

Análise comparativa de médias de variáveis foi aplicada aos dados das 5 lagoas em série, no sistema experimental 2, através de análise de variância de fator único (one-way ANOVA) segundo Sokal & Rohlf (1981). Nas Tabelas 5.20 e 5.21 apresentam o resumo de todos os valores das estatísticas F e F_c para a comparação das médias dos distintos parâmetros analíticos medidos nos efluentes das 5 lagoas em série, de manhã e à tarde, sendo que a Tabela 5.20 mostra a análise feita com os turnos separados e a Tabela 5.21 a análise feita com os turnos em conjunto.

No turno da manhã, foi observado que todas as variáveis, com exceção de OD, pH, $DQO_{(Bruta)}$, $DQO_{(Filtrada)}$ e Clorofila *a*, não apresentaram diferenças significativas. À tarde, os parâmetros (OD, pH, $DQO_{(Filtrada)}$ e Clorofila *a*) que apresentaram diferença significativa entre as médias foram praticamente os mesmos da manhã (Tabela 5.20). Com relação à análise em conjunto (Tabela 5.21), todas as variáveis, com exceção da $DBO_{5(Bruta)}$ e Glicose, apresentaram diferenças significativas entre as médias, o que reflete a diferença de qualidade dos efluentes da série entre si e no ciclo nictemeral.

A ocorrência ou não de diferenças significativas entre as médias observadas nas diversas variáveis da série, pode ser explicada por vários fatores, que estão relacionados de forma direta ou indireta com as características físicas e/ou operacionais a que estarão submetidas as 5 lagoas da série, ou seja, devido aos processos metabólicos predominantes em cada lagoa.

Como ilustração, nas Figuras 5.3 a 5.11, são feitas as comparações gráficas das médias das variáveis de qualidade dos efluentes das 5 lagoas, tendo os limites de confiança de 95%, ilustrados nas figuras, sido determinados pelo método GT-2 (*Ibid.*).

Tabela 5.20 – Estatísticas F e Fc para os dados amostrais dos parâmetros determinados no sistema experimental 2, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os valores médios dos efluentes das cinco lagoas ($\alpha = 0.05$).

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores da Estatística F e Fc</i>			
	<i>Manhã</i>		<i>Tarde</i>	
	<i>F</i>	<i>Fc</i>	<i>F</i>	<i>Fc</i>
<i>Temperatura</i> <i>(°C)</i>	0,252	2,641	1,110	2,641
<i>O. D.</i> <i>(mg/l)</i>	11,681	2,641	14,042	2,641
<i>pH</i>	19,928	2,641	10,909	2,641
<i>DBO₅(Bruta)</i> <i>(mg/l)</i>	2,177	2,641	0,263	2,641
<i>DBO₅(Filtrada)</i> <i>(mg/l)</i>	5,111	2,772	0,868	2,866
<i>DQO_(Bruta)</i> <i>(mg/l)</i>	7,521	2,641	0,857	2,641
<i>DQO_(Filtrada)</i> <i>(mg/l)</i>	19,131	2,641	4,794	2,641
<i>Clorofila a</i> <i>(µg/l)</i>	3,129	2,641	3,237	2,641
<i>Glicose</i> <i>(µg/l)</i>	1,415	2,641	1,337	2,641

Tabela 5.21 – Estatísticas F e Fc para os dados amostrais das variáveis determinadas no sistema experimental 2, considerando os dois turnos, para a verificação da existência de diferenças significativas entre os valores médios dos efluentes das cinco lagoas ($\alpha = 0,05$).

Parâmetros	Valores da Estatística F e Fc	
	F	Fc
Temperatura (°C)	39,148	2,017
O. D. (mg/l)	26,484	2,017
pH	17,418	2,017
DBO₅(Bruta) (mg/l)	1,218	2,018
DBO₅(Filtrada) (mg/l)	25,082	2,025
DQO(Bruta) (mg/l)	2,575	2,018
DQO(Filtrada) (mg/l)	10,302	2,017
Clorofila a (µg/l)	4,231	2,017
Glicose (µg/l)	1,261	2,017

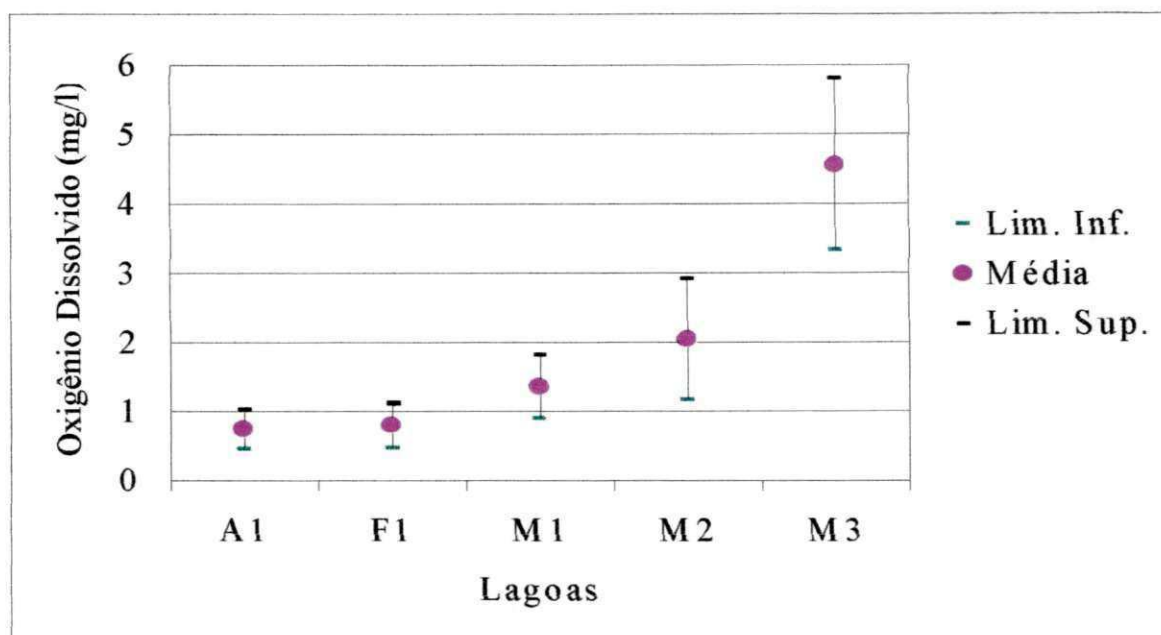


Figura 5.3 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na série de 5 lagoas (turno manhã).

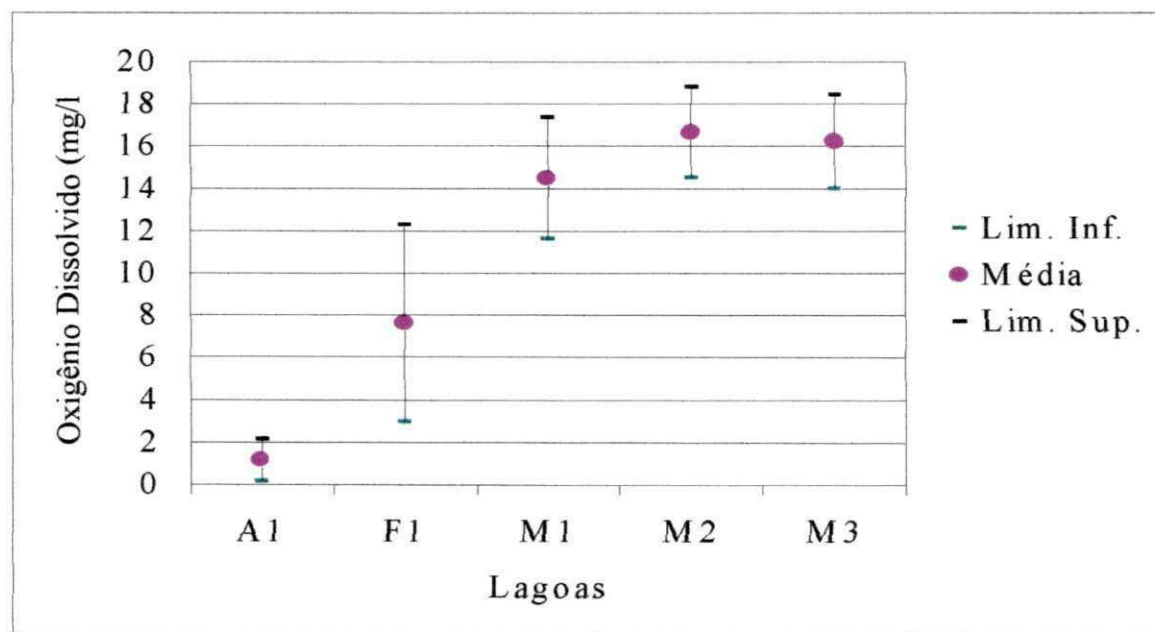


Figura 5.4 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de OD na série de 5 lagoas (turno tarde).

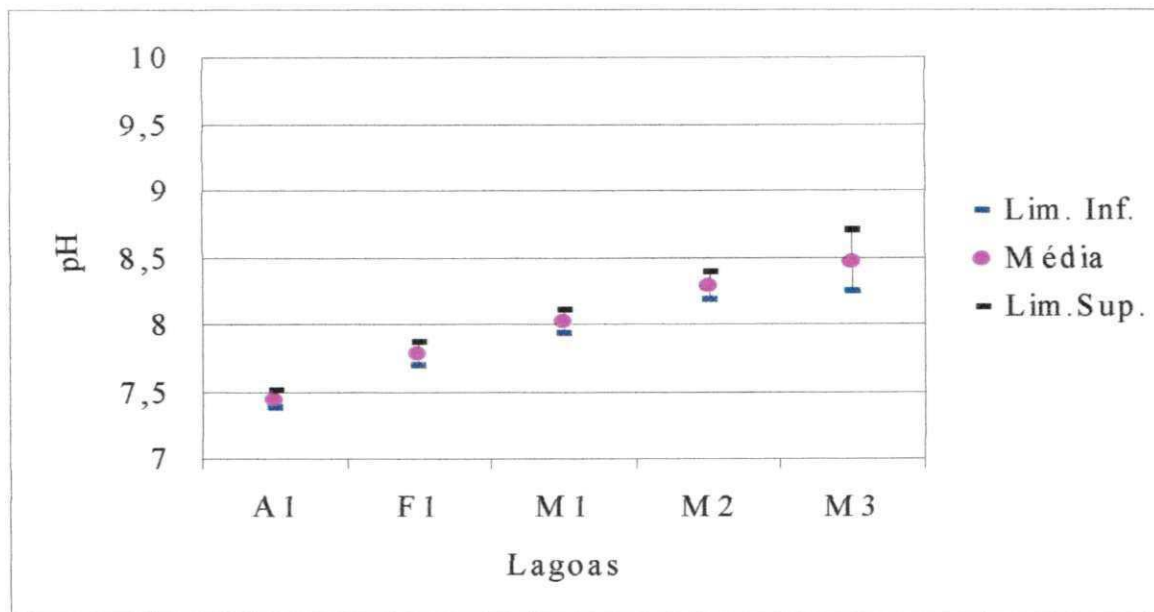


Figura 5.5 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na série de 5 lagoas (turno manhã).

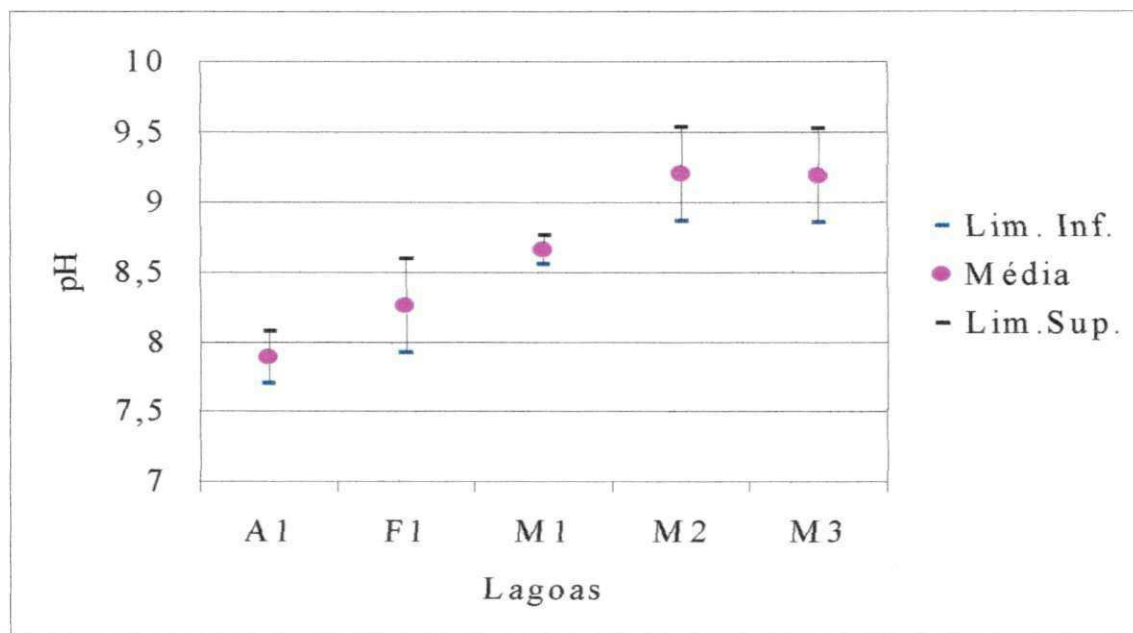


Figura 5.6 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de pH na série de 5 lagoas (turno tarde).

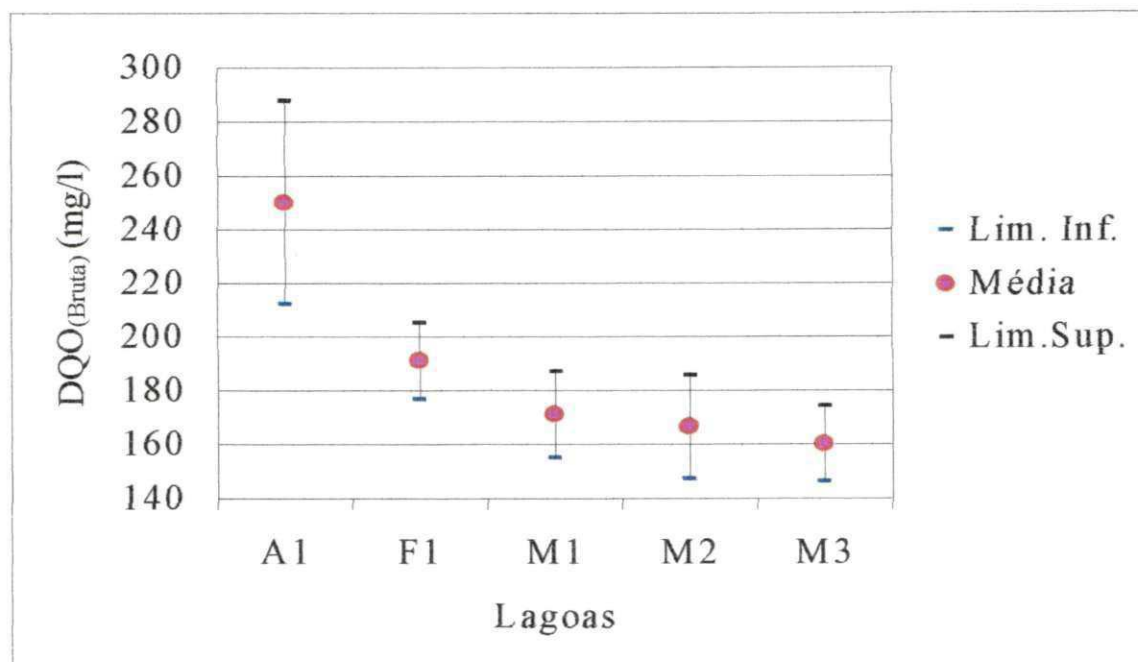


Figura 5.7 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Bruta)}$ na série de 5 lagoas (turno manhã).

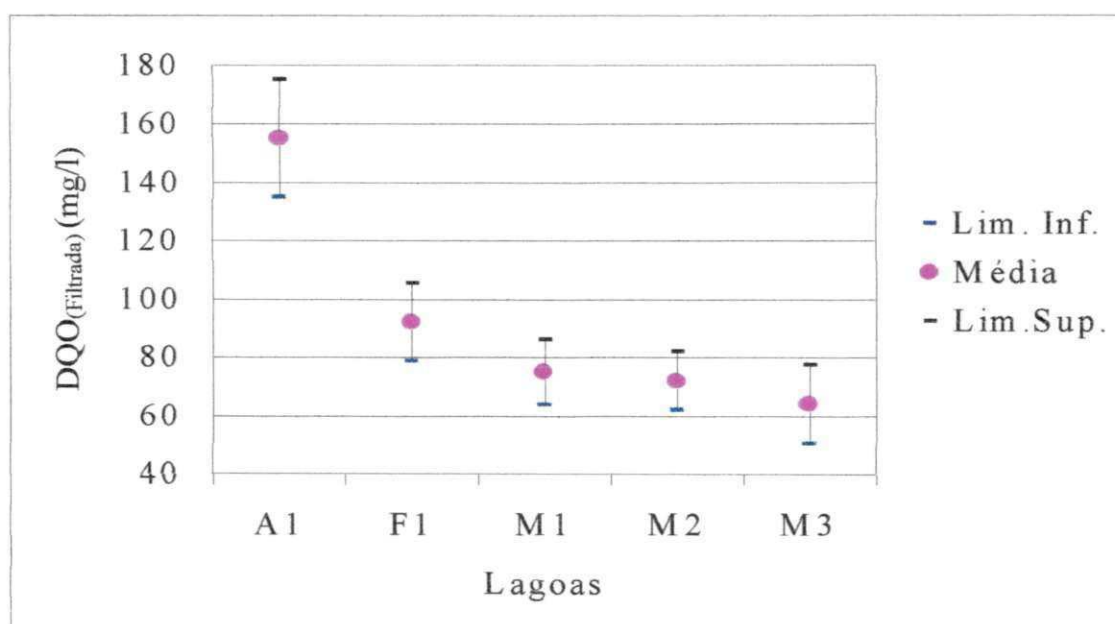


Figura 5.8 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Filtrada)}$ na série de 5 lagoas (turno manhã).

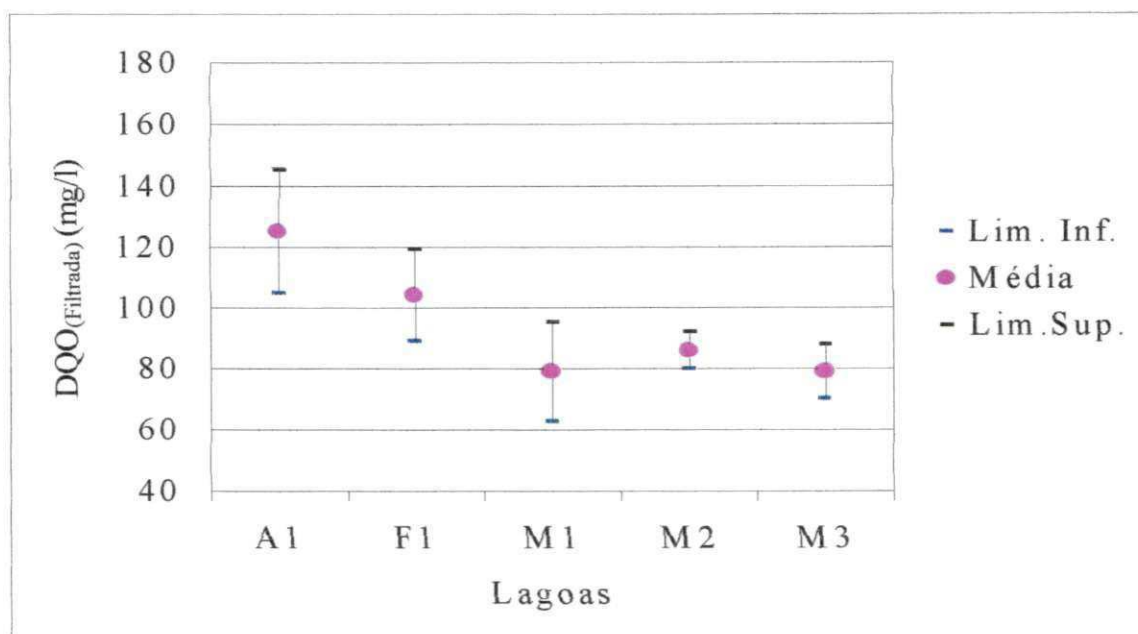


Figura 5.9 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de $DQO_{(Filtrada)}$ na série de 5 lagoas (turno tarde).

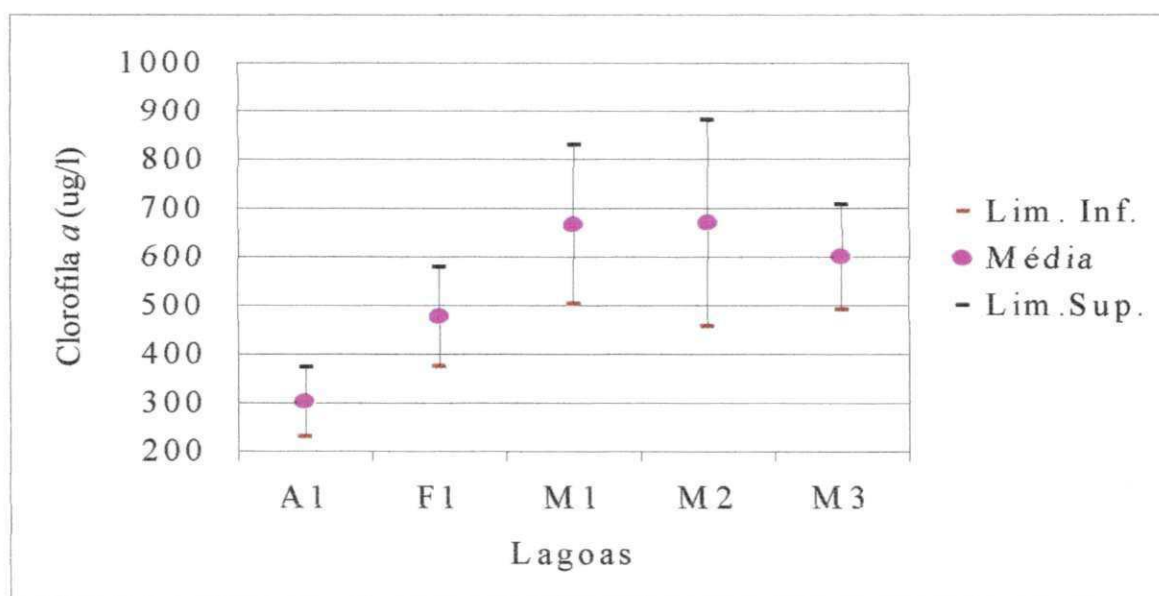


Figura 5.10 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila a na série de 5 lagoas (turno manhã).

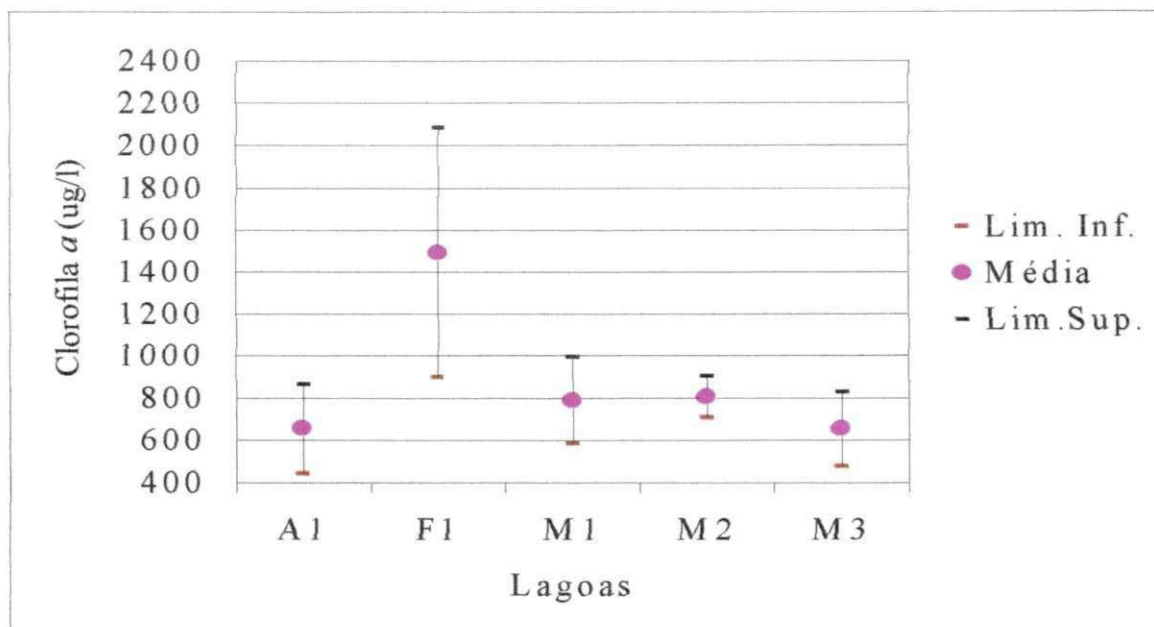


Figura 5.11 - Médias e limites de confiança de 95% (Método GT - 2) de Clorofila *a* na série de 5 lagoas (turno tarde).

5.3 Estudo de matrizes correlação dos dados da série de lagoas

Os dados das variáveis medidas nos efluentes das 5 lagoas da série foram submetidos ao estudo de correlações sendo seus coeficientes dispostos nas matrizes apresentadas nas Tabelas 5.22 (amostragem da manhã), 5.23 (amostragem da tarde) e 5.24 (conjunto de amostragens da manhã e tarde).

A seqüência das Tabelas 5.25 – 5.27 apresentam as matrizes de correlação respectivamente para os períodos manhã e tarde e conjunto manhã e tarde, com base nas médias dos valores das variáveis medidas nos efluentes de cada lagoa da série ao longo do período experimental.

Elevadas incidências (%) de coeficientes de correlação significantes ($\alpha = 0,05$) ocorreram tanto na primeira (30,6 – 80,6%) como na segunda (36,1 – 72,2%) seqüências de matrizes sendo as menores incidências observadas nas matrizes do período da manhã e as maiores nas matrizes que reúnem os dados dos dois turnos, devendo ser registrada a elevada concordância de sinais (tendência positiva ou negativa) dos coeficientes significantes em ambas as seqüências de matrizes. Essa concordância também foi manifestada quando da comparação dos coeficientes significantes nas matrizes do período da tarde e do conjunto manhã e tarde em ambas as seqüências de matrizes.

Com base nas matrizes de correlação do conjunto de dados (manhã e tarde) particularmente aquela relativa aos dados brutos (incidência maior de coeficientes significantes) torna – se possível destacar as seguintes correlações significantes, as quais indicam crescimento de pH e OD, associado à evolução da biomassa do fitoplâncton ao longo da série:

Clorofila *a* x Oxigênio dissolvido (+)

Clorofila *a* x pH (+)

Também, devem ser destacadas as correlações significantes positivas entre temperatura e as variáveis OD, pH, DQO_(Bruta), DQO_(Filtrada) e clorofila *a*, as quais refletem a maior fotossíntese do fitoplâncton e o maior acúmulo de biomassa na medida em que a temperatura aumenta ao longo do ciclo diário e do período experimental, em cada lagoa. As relações significantes e negativas entre biomassa do fitoplâncton, em termos de clorofila *a*, com a maioria das variáveis relacionadas à presença de matéria orgânica (DBO_{5(Bruta)}, DBO_{5(Filtrada)} e DQO_(Filtrada)) foram devidas à associação de concentrações decrescentes da matéria orgânica com concentrações crescentes de biomassa ao longo dos diversos compartimentos da série.

As relações significantes e positivas entre glicose e todas as variáveis medidas de matéria orgânica refletem mais a sua diminuição ao longo da série, durante o período experimental. A correlação significativa negativa entre a primeira variável e clorofila *a* reflete bem a diminuição da glicose solubilizada na massa líquida dos diferentes compartimentos (estágios) da série na medida do aumento da biomassa o que reflete de algum modo, a melhoria da qualidade da massa líquida em termos de diminuição de condições tóxicas e estressantes para o fitoplâncton.

A análise de correlação aplicada somente aos dados (Brutos e Médias) dos efluentes das lagoas de maturação não apresentou a mesma relevância da análise ora descrita especialmente no caso das matrizes correlação (não incluídas neste trabalho) baseadas nos dados médios, talvez, em face do reduzido grau de liberdade.

Tabela 5.22 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Manhã).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	-0,1286	1							
pH	-0,511	0,6773	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,0646	-0,0331	-0,0554	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,18209	-0,0326	-0,3101	0,49259	1				
DQO _(Bruta)	0,3653	-0,2921	-0,5093	0,0723	0,24746	1			
DQO _(Filtrada)	0,1984	-0,3534	-0,6193	0,1213	0,25368	0,5696	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,181	0,3119	0,3286	-0,3159	-0,43213	-0,2096	-0,1682	1	
Glicose	0,2592	0,1413	0,007	-0,0526	0,04618	0,01418	-0,1244	-0,1154	1

Tabela 5.23 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,2502	1							
pH	0,0935	0,853	1						
DBO ₅ (Bruta)	-0,2705	-0,5113	-0,5623	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,0113	-0,5233	-0,5724	0,8969	1				
DQO _(Bruta)	-0,0876	-0,362	-0,5225	0,789	0,6644	1			
DQO _(Filtrada)	-0,0159	-0,5955	-0,6841	0,841	0,8981	0,7144	1		
Clorofila <i>a</i>	0,087	0,295	0,1679	-0,4643	-0,4688	-0,2075	-0,4602	1	
Glicose	-0,0491	-0,2173	-0,3081	0,6286	0,7458	0,6382	0,6756	-0,4687	1

Tabela 5.24 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados brutos, na série de 5 lagoas (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,544	1							
pH	0,2584	0,8228	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,1285	-0,2227	-0,3189	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,2615	-0,2892	-0,3201	0,4205	1				
DQO _(Bruta)	0,289	-0,0806	-0,3022	0,6357	-0,0497	1			
DQO _(Filtrada)	0,2879	-0,2619	-0,4892	0,6674	0,15553	0,6872	1		
Clorofila <i>a</i>	0,2278	0,376	0,2745	-0,344	-0,35097	-0,0909	-0,2814	1	
Glicose	0,1712	-0,0174	-0,1091	0,4131	0,01125	0,4765	0,3353	-0,2552	1

Tabela 5.25 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Manhã).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	-0,47003	1							
pH	-0,4571	0,8608	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,858	-0,5414	-0,7325	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,43260	-0,4952	-0,8312	0,8216	1				
DQO _(Bruta)	0,4628	-0,6501	-0,9219	0,8319	0,9771	1			
DQO _(Filtrada)	-0,0125	-0,4936	-0,7897	0,4786	0,8668	0,8787	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,9199	0,5037	0,6644	-0,9572	-0,7171	-0,7181	-0,3066	1	
Glicose	0,4914	0,379	0,4914	0,0642	-0,4073	-0,4702	-0,8059	-0,2658	1

Tabela 5.26 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,1275	1							
pH	0,2203	0,9648	1						
DBO ₅ (Bruta)	-0,4722	-0,6134	-0,7073	1					
DBO ₅ (Filtrada)	-0,4502	-0,6152	-0,7168	0,9988	1				
DQO _(Bruta)	-0,5011	-0,6041	-0,7323	0,9845	0,989	1			
DQO _(Filtrada)	-0,3998	-0,7686	-0,8318	0,9751	0,9745	0,9601	1		
Clorofila <i>a</i>	-0,0039	0,3262	0,3696	-0,7508	-0,7541	-0,6711	-0,6859	1	
Glicose	-0,5876	-0,3627	-0,4875	0,9538	0,9495	0,9401	0,8652	-0,7412	1

Tabela 5.27 – Matriz correlação dos parâmetros com base nos dados médios, na série de 5 lagoas (Manhã e Tarde).

	Temperatura	O D.	pH	DBO ₅ (Bruta)	DBO ₅ (Filtrada)	DQO _(Bruta)	DQO _(Filtrada)	Clorofila <i>a</i>	Glicose
Temperatura	1								
O. D.	0,6086	1							
pH	0,4018	0,9115	1						
DBO ₅ (Bruta)	0,2489	-0,2842	-0,4901	1					
DBO ₅ (Filtrada)	0,1347	-0,354	-0,5633	0,9801	1				
DQO _(Bruta)	0,3669	-0,1571	-0,3972	0,9595	0,94858	1			
DQO _(Filtrada)	0,2595	-0,3268	-0,569	0,899	0,93543	0,9141	1		
Clorofila <i>a</i>	0,2845	0,473	0,5263	-0,5797	-0,6027	-0,3752	-0,4095	1	
Glicose	0,2052	-0,0643	-0,1479	0,8439	0,78033	0,8078	0,5676	-0,4856	1

Valor em negrito corresponde a correlação significativa ($\alpha = 0,05$)

Capítulo 6

6 – Discussão

6.1 Sobre a lagoa facultativa primária

A lagoa facultativa primária profunda provida de chicanas (F29) foi operada com uma carga orgânica elevada (330 kgDBO₅/ha.d) considerando-se que, do ponto de vista do projeto o limite máximo ($\lambda_{sm\acute{a}x} = 20T-120$), seria em torno de 340 kg DBO₅/ha.d, admitindo uma temperatura média (T) do mês mais frio do ano em torno de 23 °C.

Durante o período de coleta de dados a massa líquida da lagoa experimentou importantes variações de temperatura entre 21 (manhã) e 36 °C (tarde) sendo que tipicamente, pela manhã, essas temperaturas eram uniformes refletindo o processo de mistura ocorrido durante a noite. Nesse período, a temperatura média foi 23 °C, contrastando com a temperatura média da camada superficial, à tarde, que foi de 28,5 °C. À tarde, na camada do fundo a temperatura variou entre 24 e 24,5 °C podendo ser caracterizado, nesse período, um gradiente térmico médio de 4,5 °C na massa líquida da lagoa devido ao estado de estratificação térmica que é típico dessas lagoas operando em condições tropicais.

Essa condição já foi estudada, preliminarmente, na mesma lagoa F29 (Barros, 1999; Silva, 1999; Pedroza, 2000; Almeida, 2000), na caracterização da influência dos fatores abióticos na quantificação da biomassa do fitoplâncton e, no caso do último autor citado, a influência desses fatores sobre a quantificação e distribuição de coliformes fecais na massa líquida.

O trabalho, ora apresentado, faz parte de um conjunto maior sobre o funcionamento de lagoas facultativas primárias providas de chicanas, já parcialmente descrito pelos autores supracitados e também por Diniz (1999), e grande parte dos resultados aqui obtidos, especialmente os relacionados às variáveis de caracterização da massa líquida (T, OD e pH), confirmam o que já

havia sido evidenciado por eles em períodos anteriores, em trabalhos envolvendo objetivos e metodologias distintas.

Assim, também a análise dos dados de pH e OD representa uma confirmação de evidências anteriores. Pela manhã, ocorreu a quase neutralidade (pH médio entre 7,52 e 7,62) da massa líquida ao longo da profundidade sendo essa, também, a realidade nas camadas inferiores (pH médio entre 7,44 e 7,49), à tarde. Na superfície, neste período, a faixa de pH médio foi 8,64 – 8,78, tendo sido atingido o valor máximo de 9,38. Neutralidade, em lagoas facultativas, está, normalmente, associada a anaerobiose (camadas inferiores durante o dia e totalidade da massa líquida à noite), enquanto que em elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, o pH tende também a atingir elevados valores. Isso, é consequência do equilíbrio do sistema carbônico, isto é, o produto das concentrações de CO_2 e OH^- , dividido pela concentração de HCO_3^- é mantido constante, para uma mesma temperatura. A atividade do fitoplâncton, nas horas iluminadas do ciclo diário, é, em lagoas de estabilização, suficientemente vigorosa para, demandando uma elevada quantidade de gás carbônico, liberar uma equivalente quantidade de radicais hidroxila que elevam o pH. Evidentemente, essa atividade fotossintética ocorre com a produção de oxigênio. À noite do ciclo diário a respiração da comunidade biológica é responsável pelo aumento da concentração de gás carbônico e, conseqüentemente, de íons H^+ que diminuem o pH.

No ciclo diário, a biomassa do fitoplâncton (algas e cianobactérias), em termos de concentrações médias da clorofila *a* foi expressiva (337 – 615 $\mu\text{g/l}$, pela manhã e 227 – 3130 $\mu\text{g/l}$, à tarde), embora inferior ao observado por Silva (1982) em lagoas facultativas primárias rasas sem chicanas, podendo isso ser atribuído mais ao efeito da profundidade que propriamente ao efeito das chicanas. Ultimamente, de fato, Silva Filho (2001), aplicando análise fatorial a dados de operação de lagoas em série sob diferentes condições de operação verificou que a profundidade de lagoas exerce um efeito inverso sobre a concentração do fitoplâncton.

Maiores profundidades e, principalmente, maiores cargas orgânicas (Mara e Pearson, 1986) também devem ter influenciado na especiação do fitoplâncton caracteristicamente constituído de gêneros flagelados tolerantes à poluição orgânica. De um modo geral, a análise dos dados de identificação e contagem do fitoplâncton revelou boa concordância com a literatura (König, 1984; de Oliveira, 1990; Barros, 1999; Almeida, 2000). No entanto, em cerca de 40% das amostras coletadas ocorreu o aparecimento de células esverdeadas de pequeno diâmetro que, embora de modo não conclusivo, foi identificada como a cianobactéria *Synechocystis*, constituindo-se num aspecto distinto com relação à literatura já referenciada. O número médio de representantes dos gêneros predominantes (*Euglena* e *Chlamydomonas*) foram, ordinariamente, maiores nas amostras coletadas à tarde e na superfície as quais representam o resultado de toda uma atividade fitoplanctônica realizada nas primeiras horas da fase iluminada do ciclo diário. Essas concentrações foram mais expressivas no canal de saída refletindo a melhoria das condições abióticas (maior disponibilidade de nutrientes minerais e uma menor incidência de efeitos tóxicos) para o desenvolvimento do fitoplâncton.

De um modo geral, as variações de concentração da biomassa fitoplanctônica foram responsáveis pelas variações médias das medidas brutas de DBO₅ e DQO. Por exemplo, pela manhã (concentrações mais uniformes da biomassa), a faixa de variação média de DBO foi 51-63 mg/l e a de DQO foi 223-254 mg/l enquanto que à tarde, na superfície, as faixas foram, respectivamente, 72-101 e 336-510 mg/l tendo os valores máximos ocorrido no canal de saída. De fato, o maior valor de DQO (821 mg/l) ocorreu no ponto 5a, correspondendo ao máximo de DBO₅ e clorofila *a*.

Relações significantes diretas entre DQO_{Bruta}, DBO_{5Bruta} e clorofila *a*, foram evidenciadas com muita freqüência na análise de correlação nas diferentes conjuntos de dados devendo ser destacados o conjunto de dados brutos obtidos à tarde, o conjunto de dados brutos manhã e tarde bem como o conjunto das duas coletas (manhã e tarde) somente para o nível 5 cm. Essas relações significativas e

positivas foram confirmadas na análise de correlação das médias dos dados da coleta da tarde e do conjunto manhã e tarde. De fato, a análise de correlação desses conjuntos de dados médios resultou numa maior frequência de coeficientes de correlação significantes entre as diferentes variáveis e, portanto, parece representar um melhor indicador das relações para todo o conjunto de variáveis. Assim, a análise dos conjuntos de dados referidos, com base nas médias, mostrou as coerentes relações positivas entre clorofila *a* e Temperatura, OD e pH, demonstrando o crescimento da biomassa e dos resultados (pH e OD) da sua atividade fotossintética na medida em que a insolação contribuía para o crescente aquecimento da massa líquida.

Dessa forma, na lagoa analisada parece coerente concluir que o fitoplâncton é o principal responsável pelas modificações na massa líquida ao longo do ciclo diário.

Os valores médios de DBO e DQO em amostras filtradas mostraram uma relativa uniformidade na massa líquida tanto para amostras coletadas de manhã como à tarde sendo as maiores diferenças médias de 8 mg/l (dados médios da manhã) para a $DBO_{5\text{Filtrada}}$ e de 12 mg/l (dados médios da massa líquida pela manhã e do fundo à tarde) para DQO_{Filtrada} . A relação DBO_5/DQO foi analisada em amostras filtradas e também se apresentou relativamente uniforme ao longo dos pontos, com valores médios de 0,3 nos dois turnos, demonstrando que há uma considerável fração de matéria orgânica biologicamente inerte, presente nas amostras. Essa relação, no entanto, foi um pouco superior àquela definida para as amostras brutas a qual, pela manhã, ficou em torno de 0,25 e à tarde foi em torno de 0,2 na superfície e 0,25 nas camadas inferiores. O estudo de correlações mostrou alta frequência da ocorrência de correlações significantes entre DBO_5 e DQO determinadas em alíquotas filtradas das amostras e clorofila *a*, particularmente nos estudos baseados nas médias das diversas variáveis. Chama a atenção nessas matrizes, o fato particular dos coeficientes de correlação dessas variáveis serem todos negativos para os seguintes conjuntos de dados: (a) dados coletados à tarde; (b) conjunto de dados manhã e tarde; (c) conjunto de dados do

nível 5 cm, manhã e tarde. Diante dessa constatação, surge a pergunta: Por que a biomassa do fitoplâncton se relaciona negativamente com as frações solúveis da DBO₅ e DQO? É importante enfatizar o papel que o fitoplâncton desempenha no funcionamento da lagoa. Na primeira fase do ciclo diário, especialmente nas primeiras horas iluminadas do dia, os organismos fotossintéticos tendem a crescer sem que necessariamente a qualidade da massa líquida seja afetada a não ser pelo crescimento da biomassa. Isto é, não são perceptíveis, por exemplo, variações significativas de oxigênio dissolvido e pH, os quais podem determinar alterações importantes na composição química e nas características da massa líquida. Por exemplo, determinadas faixas de valores de pH podem favorecer a formação de precipitados metálicos os quais tendem a adsorver materiais solúveis, removendo-os para o fundo da lagoa. Essa formação de precipitados, especialmente com cálcio tende a ser mais favorecida na superfície, à tarde, pelo fato do pH aumentar como consequência da atividade fotossintética do fitoplâncton. Também, à tarde a elevada biomassa fitoplanctônica ocorre numa massa líquida bastante aquecida na qual a atividade degradadora aeróbia é mais intensa o que contribui para a diminuição de frações solúveis de matéria orgânica biodegradável. A própria migração do fitoplâncton para camadas mais profundas fugindo das elevadas temperaturas da superfície e insolação elevada pode exercer um efeito clarificador por varredura (biossorção) de espécies químicas solúveis.

Numa indicação de que nesse tipo de lagoa o fitoplâncton é responsável pela eliminação (excreção) de produtos celulares, especialmente polissacarídeos, glicose, tendeu a acompanhar o comportamento da Clorofila *a*, apresentando, como ela, correlações positivas com temperatura, OD, pH, DBO₅ e DQO em amostras brutas, tanto com base nos dados brutos como, principalmente, com base nas médias, mas somente nas amostras coletadas à tarde nas quais as concentrações de clorofila *a* foram mais expressivas. Na análise das médias do conjunto dos dados da massa líquida em amostras coletadas à tarde foram observados, também, coeficientes significativos entre Glicose e DBO₅ e DQO filtradas, mas com sinal negativo acompanhando também a tendência de

Clorofila *a*. Isto é, Glicose esteve diretamente relacionada à concentração da biomassa do fitoplâncton mas, em face de toda a argumentação apresentada no parágrafo anterior sobre a diminuição de frações solúveis de DBO e DQO particularmente à tarde, sua relação com essas variáveis tende a ser negativa. Glicose, de fato, não foi uma variável muito pródiga de informações sobre o estado da massa líquida, nem apresentou uma frequência expressiva de relações com as outras variáveis, mas esteve diretamente relacionada à biomassa do fitoplâncton e, isto, é o mais decisivo que pode ser dito sobre o seu comportamento.

6.2 Sobre a variação e a interação de fatores ao longo da série de lagoas

De uma maneira geral, nas 5 lagoas da série (A1, F1, M1, M2 e M3), foi possível observar que as tendências de comportamento da massa líquida (com base em amostras de efluentes), comparando os dois períodos de coleta, foram semelhantes, tendo os valores médios da tarde (13 h 30 min), das diversas variáveis, sido sempre maiores, comparados com os da manhã (6 h 30 min). Tais resultados, confirmam o que já havia sido evidenciado por Silva (1982), na investigação de uma série de 5 lagoas rasas e por de Sousa (1988), Ferreira (1988) e Oliveira (1990) descrevendo o funcionamento de uma série de 5 lagoas profundas, mas desprovidas de chicanas.

De lagoa para lagoa, na série, nos dois turnos, foram observados um aumento gradativo do pH e das concentrações de OD, glicose e clorofila *a* e uma diminuição também gradativa das concentrações médias de matéria orgânica (DBO₅ e DQO) tanto em amostras brutas como em amostras filtradas. Durante o período de coleta de dados, a temperatura média da massa líquida foi praticamente uniforme entre as lagoas, demonstrando apenas um aumento da manhã para a tarde, com médias de 22 °C pela manhã e 26,4 °C à tarde, resultados influenciados pelas condições climáticas típicas da região Nordeste durante o experimento.

As concentrações de matéria orgânica em termos de DBO₅, lançadas pelo efluente final da série (M3) nos dois turnos não se enquadraram nos padrões de lançamento em corpo d'água (30mg/l nos EUA e 20 mg/l no Reino Unido, segundo Bartone, 1986). No Brasil, as concentrações de DBO₅ para o lançamento de efluentes têm relação com a classe de água do corpo receptor considerado, particularmente com relação às concentrações de oxigênio dissolvido. De acordo com a Resolução CONAMA 020/86, **“Os limites de DBO, estabelecidos para as Classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que os teores mínimos de oxigênio dissolvido, não serão desobedecidos em nenhum ponto do mesmo, nas condições críticas de vazão”**. A DBO₅, ao longo da série, a diminuiu pela manhã (110 – 46 mg/l) e a tarde (82 – 70 mg/l), estando essa demanda associada à matéria orgânica morta e à presença do fitoplâncton e outros microrganismos que consomem oxigênio molecular em seus processos respiratórios. Segundo Mara *et al.* (1983), cerca de 65% da DBO₅ nas amostras do efluente de lagoas é conseqüência da presença de algas. Desde Gloyna & Tischler (1981) tem ocorrido, no mundo inteiro, uma discussão sobre limitações, em termos de sólidos em suspensão e da concentração de matéria orgânica, para o lançamento de efluentes em corpos receptores especialmente com relação aos efluentes de lagoas de estabilização **“cuja ação no corpo receptor é bastante diferente de efluentes de outras formas de tratamento”**. Mais recentemente (CEC, 1991), o Conselho das Comunidades Européias estabeleceu que para os efluentes de sistemas de lagoas de estabilização, com exceção dos sólidos suspensos (até 150 mg/l em amostras brutas), a quantificação do conteúdo orgânico, para o lançamento em corpos receptores, deve ser avaliada em amostras filtradas sendo a DBO₅ de até 25 mg/l e a DQO de até 125 mg/l. Com relação à análise das frações solúveis de DBO₅ e DQO, ao longo da série, elas tiveram uma redução gradativa, com um comportamento semelhante ao das concentrações nas amostras brutas. Essas variáveis medidas em amostras filtradas se relacionaram de forma inversa com as concentrações de clorofila *a* e direta com a glicose. A

relação DBO_5/DQO estudada em amostras filtradas, pela manhã, à medida que o líquido fluía pelos diversos reatores da série variou de 0,43 (A1) a 0,55 (M3). À tarde, a relação foi de 0,16, praticamente constante, demonstrando que, nesse período, houve uma redução maior das frações biodegradáveis solúveis.

A diversidade do fitoplâncton nas lagoas na série, variou de lagoa para lagoa, ocorrendo uma relação inversa entre carga orgânica e o maior número de gêneros de algas tanto pela manhã como à tarde, fato também registrado por König (1984) e outros pesquisadores. Neste trabalho, realizado com as 5 lagoas em série na EXTRABES, foi possível observar que, pela manhã, na primeira lagoa (A1) da série, submetida a uma carga orgânica alta, foram identificados 4 gêneros de algas e 2 gêneros de cianobactérias, enquanto que, na última lagoa (M3) da série, à tarde, com a carga orgânica já bastante reduzida pelo processo de degradação, foram identificados, 9 gêneros de algas e 2 gêneros de cianobactérias. Esta diversidade de algas identificada nas 5 lagoas (ambientes eutróficos), está associada às variações físico-químicas e biológicas que ocorrem, como resultado das interações destes microrganismos com o meio. Os gêneros predominantes nas 5 lagoas foram *Euglena*, *Chlamydomonas* e *Pyrobotrys* e as cianobactérias, *Oscillatoria* e *Synechocystis* (observadas as ressalvas feitas anteriormente), nos dois períodos. A contagem do número de células, de todos os gêneros, concordou com as conclusões do estudo baseado nos dados de identificação, sendo que, as maiores concentrações foram observadas sempre à tarde.

O aumento gradativo do pH, (7,44 – 8,47) pela manhã e (7,89 – 9,19) à tarde, e do OD, (0,74 – 4,56 mg/l) pela manhã e (1,14 – 16,21 mg/l) à tarde, ao longo da série, foi motivado por uma crescente atividade fotossintética do fitoplâncton, como também pela redução da carga orgânica

A biomassa, expressa em termos de clorofila *a*, teve suas concentrações médias variando de 301,3 $\mu\text{g/l}$ (A1) a 669,5 $\mu\text{g/l}$ (M2) pela manhã e à tarde de 653,4 $\mu\text{g/l}$ (A1) para 1490,4 $\mu\text{g/l}$ (F1). A lagoa anaeróbia (A1), mesmo sendo teoricamente desfavorável ao desenvolvimento de biomassa algal devido às

condições anaeróbias (de Sousa, 1988; Sousa, 1994), apresentou uma expressiva concentração. Entre as lagoas de maturação, a lagoa M2 foi a que teve as maiores concentrações médias durante todo o período experimental. Nessas lagoas, de maturação, as concentrações de substâncias inibidoras do crescimento do fitoplâncton (p. ex., amônia e sulfeto) tendeu a ser bastante reduzidas (de Sousa, 1988; Ferreira, 1988). Com um comportamento semelhante ao da clorofila *a*, a glicose teve concentrações crescentes de lagoa para lagoa, sendo 130 µg/l (A1) e 590 µg/l (M3) pela manhã e de 240 µg/l (A1) a 580 µg/l (M3) à tarde. Na série, foi possível observar que, em virtude das necessidades básicas da comunidade microbiana, e no consumo de energia necessária para a degradação da grande quantidade de matéria orgânica presente na massa líquida da lagoa anaeróbia, ocorreu uma redução média (81%) expressiva nas medidas das concentrações médias de carboidratos, expressas como glicose, entre o esgoto bruto afluente e o efluente da lagoa (A1), nos dois períodos. Nas lagoas seguintes (F1, M1, M2 e M3), as medidas nos efluentes mostraram que houve um aumento gradativo nas concentrações de glicose, em ambos os turnos. Os aumentos gradativos das concentrações de glicose (carboidratos) corresponderam aos aumentos de pH e OD, e com a diminuição das concentrações de matéria orgânica.

Nas seqüências de matrizes-correlação estudadas entre os diversos parâmetros com os conjuntos de dados, da série de 5 lagoas, o conjunto de dados brutos da manhã, apresentou o menor número (11) de freqüência de coeficientes significativos, e o maior número (29) foi observado no conjunto de dados manhã e tarde. Com relação às matrizes-correlação do conjunto de dados médios, os resultados foram semelhantes, sendo que os números de freqüência de coeficientes significativos foram menores. Os números maiores de coeficientes significativos obtidos nos conjuntos de dados das matrizes manhã e tarde foram influenciados fortemente pelos conjuntos de dados da tarde, que foram influenciados diretamente pelos fatores bióticos e abióticos de cada uma das 5 lagoas da série. De uma maneira geral, nas matrizes-correlação do conjunto das 5 lagoas da série, foram observadas relações significantes e positivas com alta

freqüência, em praticamente todos os conjuntos de dados, brutos e médios, entre os parâmetros OD e pH; $DBO_{5(Bruta)}$ e $DBO_{5(Filtrada)}$; $DBO_{5(Bruta)}$ e $DQO_{(Bruta)}$; $DBO_{5(Bruta)}$ e $DQO_{(Filtrada)}$; $DBO_{5(Filtrada)}$ e $DQO_{(Bruta)}$; $DBO_{5(Filtrada)}$ e $DQO_{(Filtrada)}$, e $DQO_{(Bruta)}$ e $DQO_{(Filtrada)}$, como também, com uma alta freqüência de coeficientes significativos porém negativos, entre OD e $DBO_{5(Filtrada)}$; OD e $DQO_{(Filtrada)}$; pH e $DBO_{5(Bruta)}$; pH e $DQO_{(Bruta)}$; pH e $DQO_{(Filtrada)}$; $DBO_{5(Bruta)}$ e clorofila a ; $DBO_{5(Filtrada)}$ e clorofila a , e clorofila a e glicose. Glicose tendeu a apresentar relação predominantemente positiva com todas as variáveis estimadoras de matéria orgânica.

6.3 Análise comparativa dos sistemas experimentais

A análise comparativa dos dois sistemas experimentais deve ter seu ponto de partida na consideração de dois importantes aspectos: o primeiro é a própria configuração do sistema e o segundo é a metodologia empregada na análise de cada um deles.

Com relação à configuração o sistema experimental 1 era uma única lagoa facultativa primária profunda provida de chicanas longitudinais do tipo vai-e-vem. Isto é, a lagoa F₂₉ era, de fato, um canal de cerca de 75 m de extensão no qual água residuária bruta recebia, ao longo de um tempo médio de 15 dias, um tratamento cujo efeito principal era exercido sobre a concentração de matéria orgânica. De fato, os efeitos mais visíveis do tratamento ocorrido numa lagoa facultativa primária são a remoção de matéria orgânica e a alta proliferação fitoplanctônica. O sistema experimental 2 era uma série de cinco lagoas com o dobro do tempo de detenção hidráulica médio da lagoa facultativa. Numa série de lagoas, constituída de ambientes sucessivamente mais seletivos dos constituintes biológicos, o tratamento se manifesta de uma maneira mais vigorosa com relação à remoção de matéria orgânica, organismos fecais e nutrientes. De fato, ocorre ao longo da série uma verdadeira sucessão ecológica na qual um fitoplâncton mais adaptado a altos níveis de poluição orgânica (caracterizando pela predominância

de algas móveis) vai sucessivamente dando lugar a um outro mais exigente com o aparecimento de gêneros não móveis, por exemplo. Com relação à metodologia deve ser considerado que a lagoa F_{29} teve o seu funcionamento examinado ao longo da massa líquida enquanto que a série de lagoas foi investigada com base em amostras de efluentes e, assim, enquanto no primeiro sistema as interações estudadas levaram em conta os efeitos observados em camadas superficiais e profundas, no segundo essas interações foram estudadas com base somente em amostras representativas das camadas mais superficiais em face da posição da canalização do efluente. É importante lembrar que a biomassa do fitoplâncton é normalmente mais concentrada nas camadas da superfície.

Considerando essa reflexão torna-se conveniente examinar os aspectos relacionados à variação e às interações das concentrações dos compostos solúveis com a biomassa do fitoplâncton que é o fator que, em ambos os sistemas, parece exercer um papel chave nas modificações da qualidade da água sob tratamento.

Em ambos os sistemas pH, oxigênio dissolvido e clorofila *a* estiveram relacionados diretamente com temperatura refletindo não necessariamente um efeito cinético mas um efeito da acumulação de calor na massa líquida coincidente com um efeito de crescimento do fitoplâncton e as conseqüências de sua fotossíntese sobre o estado de aerobiose e sobre o pH ao longo das horas iluminadas do ciclo diário. As correlações significativas entre clorofila *a* e DBO_5 e DQO em amostras filtradas foram sempre negativas refletindo, possivelmente, tanto uma maior atividade biodegradadora, como uma maior ocorrência de mecanismos físicos e químicos de remoção das frações orgânicas solúveis em ocasiões de alta concentração fitoplanctônica que coincidem, conforme explicado antes, com mais elevadas temperaturas, etc. Toda essa ação complexa não se manifesta do mesmo modo com relação ao material orgânico particulado, por exemplo, conforme atestam as relações entre clorofila *a* e DBO_5 e DQO determinadas em amostras brutas. De fato, na lagoa facultativa, ocorreram relações positivas entre essas variáveis e na série relações negativas. Nesta, ocorreu uma redução gradativa do material orgânico simultaneamente a um

aumento gradativo da biomassa fitoplanctônica porque este é o comportamento típico de uma série em contraste com o comportamento de uma única lagoa facultativa que não compreende ambientes muito distintos entre si mesmo quando são consideradas as suas duas extremidades (entrada e saída do canal). Podem ser atribuídas às mesmas diferenças de configuração, já analisadas, o comportamento diverso (relação predominantemente positiva no sistema 1 e predominantemente negativa no 2) da relação clorofila *a* com glicose. Enquanto na lagoa facultativa há uma relação direta envolvendo as duas variáveis, na série a manutenção de relativamente baixas concentrações de glicose ou até mesmo concentrações decrescentes associado ao aumento gradativo de concentrações de biomassa fitoplanctônica reflete uma melhoria ambiental (por exemplo menores concentrações de elementos tóxicos) ao longo da série que contribui para uma relativamente menor excreção de polissacarídeos.

Capítulo 7

7 – Conclusões

A análise dos resultados de monitoração dos dois sistemas experimentais investigados, neste trabalho, permitiu concluir o seguinte:

- Em ambos os sistemas, o fitoplâncton foi considerado o principal responsável pelas modificações da massa líquida no ciclo diário apresentando maiores concentrações de biomassa sempre no período da tarde;
- Na lagoa facultativa primária provida de chicanas a biomassa do fitoplâncton em termos de clorofila *a* apresentou correlação positiva com as variáveis estimadoras que expressam as concentrações de material orgânico (DBO₅ e DQO) em amostras brutas e correlação negativa com tais variáveis medidas em amostras filtradas, particularmente no nível superficial;
- Na série de lagoas a biomassa apresentou correlação predominantemente negativa com DBO₅ e DQO determinadas tanto em amostras brutas como em amostras filtradas;
- Em ambos os sistemas *Euglena* e *Chlamydomonas* foram os gêneros de algas que apareceram com maior frequência e em maior número. A cianobactéria *Synechocystis* apareceu em grande número, durante um certo período, em ambos os sistemas;
- Embora não tenha sido uma variável muito pródiga de informações sobre o estado da massa líquida nem tenha apresentado um frequência expressiva de relações com as outras variáveis, a glicose esteve diretamente relacionada à biomassa do fitoplâncton na lagoa facultativa e, de um modo predominante, esteve relacionada negativamente à biomassa fitoplanctônica ao longo dos vários estágios da série de lagoas.

Capítulo 8

8 - Bibliografia

- ALMEIDA, I. N.** (2000). Estudo da distribuição de coliformes fecais na massa líquida de lagoas facultativas providas de chicanas. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- APHA, AWWA, WPCF** (1992). Standard methods for the examination of water and wastewaters. 17th edition. Washington D.C.: American Public Health Association.
- ARTHUR, J. P.** (1983) Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries. Technical paper n° 7. Washington: World Bank.
- AZEVEDO NETTO, J. M.** (1975). Lagoas de estabilização, Capítulo 1. CETESB, São Paulo. pp 1-6.
- BARBOSA, G. C.** (1989). Comportamento de coliformes fecais de uma série de lagoas de estabilização profundas tratando esgoto doméstico. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- BARKER, D. J. e STUCKEY, D. C.** (1999). A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems. Wat. Res. Vol 33, n° 14, Elsevier Science. pp.3063 – 3082.
- BARTONE, C. R.** (1986). Waste stabilization ponds and reuse of effluents – Seminário Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización, CEPIS, Lima – Peru.
- BARROS, J. V.** (1999). Efeito do uso de chicanas longitudinais do tipo vai-e-vem em lagoas facultativas primárias tratando águas residuárias domésticas. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- BICUDO, C. E. M. e BICUDO, R. M. T.** (1970). Algas de águas Continentais e Brasileiras. FUNBEC. São Paulo. 209p.
- BONEY, A. D.** (1975). Phytoplankton. Edward Arnold. Limited Studies in Biology, n° 52. London. 116 p.

- BLUNDI, C. E.** (1988). Aplicação de métodos alternativos para a determinação de matéria orgânica e biomassa em águas residuárias. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- BRANCO, S. M.** (1986). Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 3ª ed. São Paulo. CETESB / ASCETESB, 1986. 640p.
- BRANCO, S. M.** (1975). Lagoas de estabilização. 2º ed. São Paulo. CETESB / ASCETESB. 241p.
- BUSH, A. F.** (1961) Dissolved solids removal from wastewater by algae. Journal of the Sanitary Engineering Division – ASCE, vol. 87 SA3, pp.39-57.
- CAIRNCROSS, S. e FEACHEM, R. G.** (1983). Environmental Health Engineering in the Tropics. An Introductory Text. Chichester: John Wiley & Sons.
- CEBALLOS, B. S. O.** (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Mendonça, Sérgio Rolim. Santa Fé de Bogotá – Colômbia. Ed. McGraw-Hill.
- CEC - COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES.** (1991). Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC). Official Journal of the European Communities, L135/40 – 52 (30 May).
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.** Resolução n. 20 de 20 de junho de 1986. Diário Oficial da União. Brasília, 30 de julho de 1986, Seção I, pp.11356-61.
- COSSER, P. R.** (1982). Lagoon algae and the BOD test. Effluent and Water Treatment Journal. pp. 357-361.
- de **ALMEIDA, M. M. P.** (1997). Estudo do efeito de defletor de escoamento e da relação comprimento/largura efetiva de escoamento na eficiência hidráulica de bacia de sedimentação. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória.
- da **SILVA, J. B. P.** (1998). Remoção de Coliformes Fecais e Matéria Orgânica em um Reservatório Profundo de Estabilização Tratando Águas Residuárias Domésticas. Dissertação de Mestrado. UFPB. Campina Grande.
- da **SILVA, S. R.** (1996). Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória – Espírito Santo. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória.

- de OLIVEIRA, R. (1990). The performance of deep waste stabilization ponds in northeast Brazil. Ph.D. thesis. University of . Leed. U. K.
- de OLIVEIRA, R. (1995). The performance of a pilot-scale series of ten ponds treating municipal sewage in northeast Brazil. Third IAWQ WSP Conference. João Pessoa, Brasil, 26 –31 March.
- de OLIVEIRA, R. e ARAUJO, A. L. C. (1996). Notas de Aulas – Lagoas de Estabilização. UFPb –Campina Grande – Pb.
- de SOUSA, M. de F. N. (1988). Estudo da influência do tempo de detenção no comportamento de nutrientes ao longo de uma série de lagoas de estabilização – Lagoas profundas. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- DINGES, R. (1982). Natural systems for water pollution control. van Nostrand Reinhold Company. 252p.
- DINIZ, M. J. L. (1999). Estudo da influência de chicanas no desempenho operacional de lagoas facultativas primárias profundas tratando esgotos domésticos. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A. and SMITH F. (1956). *Analytical Chemistry*. Volume 28, n.º 3, March , 350 - 356.
- ESTEVES, F. A. (1998). Fundamentos de Limnologia. Interciência: FINEP, Rio de Janeiro. 575p.
- FARIAS, W. de O. (1989). Estudo da influência do tempo de detenção na remoção de coliformes fecais em lagoas de estabilização profundas em série. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- FEITOZA, N. de B. (1983). Influência do tempo de detenção na eficiência de lagoas facultativas secundárias, tratando esgotos domésticos. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- FERREIRA, I. V. L. (1988). Contribuição ao estudo do ciclo do enxofre em lagoas de estabilização profundas em série. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- FOGG, G. E. (1975). Algal cultures and phytoplankton ecology. 2 ed. The University of Wisconsin Press. 175 p.
- GLOYNA, E. F. e TISCHLER, L. F. (1981). Recommendations for regulatory modifications: The use of waste stabilization ponds systems. Journal of the Water Pollution control Federation, 53 (11), pp. 1559-1563.

- GOTAAS, H. B.** (1956). Composting: Sanitary disposal and reclamation of organic wastes. World Health Organization. Geneva, 205p.
- GRAHAM, N. J. D.; WARDLAW, V. E.; PERRY, R. e JIANG, J.** (1998). The significance of algae as trihalomethane precursors. *Wat. Res.* Vol 37, nº 2, Elsevier Science. pp. 83 – 89.
- GUIMARÃES, J. R. L.** (1986). Caracterização de lagoas de estabilização profundas – Lagoas facultativas primárias. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- HAMMER, M. J.** (1979). Sistemas de abastecimento de água e esgoto. – Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 561p.
- HARTLEY, W. R. e WEISS, C. M.** (1970). Light intensity and the vertical distribution of algae in tertiary oxidation ponds. *Water Research*, nº4. pp. 751 – 763.
- HERMAN, E. R.** (1962). Stabilization ponds as a nitrate reducing reactor. *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 88. pp. 1 – 20.
- JEZIALIC, A.** (1971). Oxidation ponds and lagoons. In: Water Pollution Disposal and Reuse. Vol. 1. New York: Marcel Dekker Inc.
- JOHANSSON, P., PERNRUP, M. e RANGEBY, M.** (1996). Low-cost upgrading of na over-sized waster stabilization pond system in Mindelo, Capo Verde. *Water Science & Technology*, volume 33, número 7, pp. 99 – 106.
- JONES, J. G.** (1979). A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh water. Ambleside: Freshwater Biological Association – Scientific Publication (39).
- KÖNIG, A.** (1984). Ecophysiological studies on some algae and bacteria of waste stabilization ponds. Tese de Doutorado. Liverpool. Inglaterra
- KÖNIG, A.** (2000) Sistemas de lagunas de estabilización. Mendonça. Sérgio Rolim. Santa Fé de Bogotá – Colômbia. Ed. McGraw-Hill.
- LEHNINGER, A. L.** (1982). Principles of Biochemistry. N. Y., Worth Publishers, Inc., 1011p.
- MAYO, A. W.** (1986). Effect of pond depth on bacterial mortality rate. *Journal of Environmental Engineering*, 115(5), pp. 964-977.

- MAYO, A. W. e NOIKE, T.** (1996). Effects of temperature and pH on the growth of heterotrophic bacteria in waste stabilization pond. *Waste Research*, v. 30, n° 2, pp. 447 – 455.
- MARA, D. D., ALABASTER, G. P., PEARSON, H. W. e MILLS, S. W.** (1992). Waste stabilization ponds: a design manual for eastern Africa. Lagoon Technology International Ltd., Leeds, England.
- MARA, D. D.** (1976). *Sewage Treatment in Hot Climates*. Chichester: John Wiley and sons Ltd.
- MARA, D. D. and PEARSON, H. W.** (1986). Artificial freshwater environments: Waste Stabilization Ponds. In: *Biothecnology – a Comprehensive Treatise*. Vol 8, Chapter 4. Weinheim: Verlagsgesellschaft.
- MARA, D. D., PEARSON, H. W. e SILVA, S. A.** (1983). Brazilian stabilization pond reseach suggests low-cost urban applications. *World Water*, 6, pp 20 – 24.
- MARAIS, G. v. R.** (1966). New factors in the design, operation and performance of waste stabilization ponds. *Bull. WHO*. pp. 737 – 763.
- MARAIS, G. v. R.** (1974). Faecal bacterial kinetics in the stabilization ponds. *Journal of the environmental engineering division, ASCE, USA*, 100, 119.
- MCKINNEY, R. E.** (1976). Functional characteristics unique to ponds. Ponds as a wastewater treatment alternative, vol IX, Edited By GLOYNA, Earnest F.; MALINA Jr., Joseph F.; DAVIS, Ernest M. Austin, University of Texas. pp. 317-325.
- METCALF & EDDY** (1998). *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing company Ltd.
- MIDDLEBROOKS, E. J.; MIDDLEBROOKS, C. H.; REYNOLDS, J. H.; WATTERS, G. Z.; REED, S. C. e GEORGE, D. B.** (1982). *Wastewater stabilization lagoon design, performance and upgrading*. New York: MacMillan Publishing Co., Inc.
- MOELLER, J. R. e CALKINS, J.** (1980). Bactericidal agents in wastewater lagoons and lagoon desin, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v. 52, n.10, pp. 2442-2451.
- MORENO-GRAU.** (1984). Thermal simulation of deep stabilization ponds. *Trib. Cebedeau*, n° 491, Cebedoc. pp. 403-419.

- MOSS, B.** (1986). Ecology of freshwater. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 32p.
- MUTTAMARA, S. e PUETPAIBOON, U.** (1996). Nitrogen removal in baffled waste stabilization ponds. *Water Science & Technology*, volume 33, número 7, pp. 173-182.
- NUSCH, E. A.** (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination – *Archiv. Hydrobiologie Beih ergebn Limnol.*, 14, pp 14 – 36.
- OLIVEIRA, R. E. de** (1995). *Remoção de Coliformes Fecais e Matéria Orgânica Numa Série de Dez Lagoas de Estabilização, em Escala-Piloto, Tratando Esgotos Domésticos em Região de Clima Tropical.* Dissertação de Mestrado. UFPB. Campina Grande.
- PALMER, C. M.** (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *J. Phycol.*, (5).
- PARKER, C. D.** (1962). Biological Mechanisms in Lagoons. *Water Technology*, 11 (4/5), pp. 71-85.
- PEARSON, H. W. e KÖNIG, A.** (1986). The biology of waste stabilization pond systems. Seminário Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización. CEPIS, Lima – Peru, 3 - 4 Marzo.
- PEARSON, H. W.** (1987). Application of algae in sewage treatment processes, In: *Microbial technology in the developing world* (Ed. E. J. da Silva and others). Oxford University Press.
- PEARSON, H. W. e SILVA, S. A.** (1979). Variações diurnas de certos parâmetros físicos-químicos e biológicos em efluentes de lagoas facultativas e de maturação. XII Congresso da ABES – Manaus – AM.
- PEARSON, H. W.; MARA, D. D.; CAWLEY, L. R.; ARRIDGE, H.M. e SILVA, S. A.** (1979). The performance of an innovative tropical experimental waste stabilization pond system operating at high organic loadings. *Water Science & Technology*, volume 33, número 7, pp 63 – 74.
- PEDROZA, M. M.** (2000). *Comportamento de formas de nitrogênio e fósforo e sistemas de lagoas facultativas primárias, providas de chicanas, tratando esgotos domésticos.* Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- REYNOLDS, C. S.** (1984). The ecology of freshwater phytoplankton. *Cambridge Studies in Ecology*, Cambridge. p.384.

- PRATT, R.** (1944). Studies on *Chlorella*. Influence on growth of *Chlorella* of continuous removal of chlorellin from culture solution. Am. J. Bot. 31. pp 418 – 421.
- ROUND, F. E.** (1973), The biology of the algae. Edward Arnolds (Publishers) Ltd., London. 278 p.
- ROUND, F. E.** (1981), The ecology of algae. Cambridge University Press. Cambridge. 653p.
- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. e PARKIN, G. F.** (1994). Chemistry for Sanitary Engineering. 4th edition. McGraw – Hill.
- SCHMIDT, W.; HAMBSCH, B. e PELZOLDT, H.** (1998). Classification of algogenic organic matter concerning its contribution to the bacterial regrowth potential and by-products formation. Wat. Res. Vol37, n° 2, Elsevier Science. pp. 91 - 96.
- SILVA, O. de L. C.** (1999). Avaliação de espécies de enxofre em lagoas de estabilização facultativas primárias com chicanas tratando esgotos domésticas. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- SILVA FILHO, T. T.** (2001). Análise multivariada de dados de operação de lagoas de estabilização em série. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- SILVA, S. A.** (1982). On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in northeast Brasil. PhD Thesis. Department of engineering and Applied Science. University of Dundee. Escócia.
- SILVA, S. A. e MARA, D. D.** (1979). Tratamento de Biológico de águas Residuárias: Lagoas de Estabilização. Rio de Janeiro, Rj, ABES.
- STANIER, R. Y., DOUDOROFF, M. e ADELBERG, E. A.** (1969). Mundo dos micróbios. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 741p.
- SOKAL, R. R. and ROHLF, F. J.** (1981). Biometry – The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 2nd edition. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- SOUSA, M. do S. M.** (1994). Variações no ciclo nictemeral da qualidade do efluente final da ETE do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.

- TEJO, C. Di P.** (1993). *Variações de parâmetros físico - químicos e microbiológicos de duas lagoas de estabilização em escala real do município de Guarabira..* Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- TRAJANO, A. S. A.** (1999). *Influência das características físicas e operacionais no desempenho de lagoas facultativas secundárias e de maturação.* Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande.
- TOLEDO, A. G.** (1997). Efeito da carga orgânica no desempenho de um bio-reator de leito fluidizado trifásico. XVII Congresso da ABES – Foz de Iguaçu - PR.
- van HAANDEL, A. C. e LETTINGA, G.** (1994). Tratamento Anaeróbio de Esgotos. Campina Grande- Pb, Epgraf. 225p.
- van HAANDEL, A. C. e MARAIS, G.** (1999). O comportamento do sistema de lodo ativado. Campina Grande- Pb, Epgraf, 488p.
- von SPERLING, M.** (1996). Lagoas de Estabilização/ Marcos von Sperling. – 2. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 143p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.3).
- WHITE, A.** (1964). Principles of Biochemistry. 3^a. Ed., N. Y., McGraw – Hill. Book Company. 1106p
- WHO** (1989). Health Guidelines for the use of wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Serie 778. Geneva: World Health Organization.