UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

ANA FLÁVIA DA SILVA HOEPPNER

**Comportamento de variáveis físicas, químicas e da eficiência de sistemas de lagoas de
estabilização em ambiente tropical (Vale do Ribeira de Iguape, SP)**

São Carlos
2007

ANA FLÁVIA DA SILVA HOEPPNER

Comportamento de variáveis físicas, químicas e da eficiência de sistemas de lagoas de estabilização em ambiente tropical (Vale do Ribeira de Iguape, SP)

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Área de concentração: Hidráulica e Saneamento

Orientador: Professora Titular Maria do Carmo Calijuri

São Carlos
2007

DEDICATÓRIA

A Helena e Paulo Sérgio Hoepner, meus pais, e Mariana e Paulo Guilherme Hoepner, meus irmãos, pelo incentivo às atividades acadêmicas, pelo apoio nas dificuldades e pelo compartilhamento de felicidades. E à minha segunda família, Cristina, Fernanda e Henrique, meus primos, por terem me acolhido e terem feito parte de momentos muito importantes da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Professora Doutora Maria do Carmo Calijuri pelo apoio, orientação, conselhos e por confiar nas minhas idéias e trabalhos.

A Patrícia Bortoletto de Falco pela paciência, correções aos meus trabalhos e dissertação, às novas idéias e reflexões, e demais formas de apoio.

A Adriana Cristina Poli Miwa, Adriana Barbosa da Costa, Simone Pereira Casali, Ive Ciola Ferraz, Caroline de Andrade Gomes da Cunha, Juliana Moccellin e Luci Aparecida Queiroz pelo dia a dia em laboratório, ajudas, troca de idéias.

A Silvia Sônia da Silva, Isabelle Aparecida dos Santos, Noemi da Silveira Pereira, Luciana de Deus Zacarias, Elisânia (Li), Alexandre Fernandes Ono pela diversão, amizade, compartilhamento de bons momentos e apoio nos ruins.

Aos técnicos Waldomiro Antônio Filho e José Roberto Maramaque e ao motorista Benedito Patracon pela companhia e ajuda nos trabalhos de campo.

A FAPESP pelo apoio financeiro a esta dissertação (Número do Processo: 05/53446-0) e ao Projeto Temático FAPESP denominado “Estudo dos sistemas naturais e artificiais redutores de cargas poluidoras para a sustentabilidade dos recursos hídricos do Baixo Ribeira do Iguape (SP)” (Número Processo: 02/13449-1).

Aos examinadores das Bancas de Qualificação compostas por Maria do Carmo Calijuri, Marcelo Zaiat, Erick Kellner e André Cordeiro dos Santos pelas correções e direcionamentos.

A SABESP de Registro, principalmente ao Oswaldo Beltrame, pelo fornecimento de informações relativas aos sistemas do Vale do Ribeira.

RESUMO

HOEPPNER, A.F.S. Comportamento de variáveis físicas, químicas e da eficiência de sistemas de lagoas de estabilização em ambiente tropical (Vale do Ribeira de Iguape, SP). 2007. 284 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

As lagoas de estabilização compõem sistemas de tratamento de águas residuárias sujeitos à variação de eficiência decorrente, dentre outros fatores, das variações climáticas. A variação de eficiência e da estratificação em lagoas de estabilização, localizadas em ambiente subtropical, em diferentes épocas do ano, foi o principal objetivo dessa pesquisa. Para essa finalidade, a eficiência de dois sistemas de lagoas de estabilização localizadas no Vale do Ribeira de Iguape (SP) – nas cidades de Jacupiranga e Pariquera-Açu – foi determinada, em período sazonal (quatro épocas do ano) e semanal (três dias consecutivos), assim como perfis de temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido e aspectos ambientais (temperatura do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento e precipitação) foram mensurados. Além disso, aspectos operacionais, tais como, volume de lodo, de água, vazão e tempo de detenção teórico foram mensurados a fim de caracterizar apenas as lagoas facultativas. Alterações no comportamento sazonal destas variáveis e padrões de similaridade entre eficiência de cada lagoa e estratificação térmica foram analisadas através da ferramenta estatística Análise do Componente Principal (PCA). Observou-se, principalmente, que a variação sazonal de eficiência foi relevante, sendo que, em julho/06 a qualidade do afluente e do efluente foi diferente das outras épocas do ano, ou seja, houve variação sazonal de variáveis físicas e químicas. Variação diária foi observada em janeiro/06, época de maiores precipitações e maior homogeneidade térmica. Na PCA, a estratificação térmica foi significativa, ou seja, esteve relacionada com outras variáveis. A vazão e tempo de detenção, nas lagoas facultativas, estiveram dentro de faixas observadas em outras lagoas de estabilização e o volume de lodo não ultrapassou 3% do volume das lagoas.

Palavras chave: batimetria, tempo de detenção hidráulico, lagoas de estabilização, estratificação térmica, sazonalidade.

ABSTRACT

HOEPPNER, A.F.S. Behavior of physical, chemical variable and efficiency of systems composed by stabilization ponds in tropical environment (Vale Ribeira de Iguape, SP, Brazil). 2007. 284 f. Dissertation (Masters Degree) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Stabilization ponds compose systems of wastewater treatment citizens to the variation of efficiency decurrent, amongst other factors, of the climatic variations. The variation of efficiency and stratification in stabilization ponds, located in subtropical environment, at different seasons, was the main objective. For this purpose, the efficiency of two stabilization ponds systems located in the Vale do Ribeira de Iguape (SP) – in cities as Jacupiranga and Pariquera-Açu - was determined, in sazonal period (four seasons) and weekly (three days consecutive), as well as temperature, electric conductivity, pH and dissolved oxygen profiles and environment aspects had been measured (air temperature, solar radiation, direction and speed of the wind and precipitation). Moreover, operational aspects, such as, volume of sludge, volume of water, outflow and theoretical detention times had been measured in order to characterize only the facultative ponds. Alterations in sazonal behavior of these variables and standards of similarity between efficiency and thermal stratification had been analyzed through the tool statistics Analysis of Componente Principal (PCA). It was observed, mainly, that the sazonal variation of efficiency was important, so, in July/06 the quality of the affluent and effluent was different to the other seasons, in other words, it was observed sazonal variation of physical and chemical variable. Daily variation happened in January/06, time of more precipitations and thermal homogeneity. In other analysis with PCA, the thermal stratification was significant and it was related with other variable. The outflow and detention times, in the facultative ponds, had been similar others facultatives ponds and the volume of sludge did not exceed 3% of the volume of water in the ponds.

Keywords: bathymetry, hydraulic detention time, stabilization ponds, thermal stratification, seasonal variation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Porcentagem de tempo total de estratificação térmica – prevalência - na lagoa de estabilização facultativa, em Bolivar (Austrália).	56
Figura 2 - Fração de tempo total de estratificação térmica em função da duração de cada evento (persistência), para cada ponto, na lagoa de estabilização facultativa, em Bolivar (Austrália).	56
Figura 3 - Localização das cidades de Jacupiranga (a) e Pariquera-Açu (b), no Estado de São Paulo.	57
Figura 4 - Sistema de lagoas de estabilização da cidade de Jacupiranga - SP: (M2) lagoa aerada, (LF) lagoa facultativa convencional e (STC) saída tanque de cloração. As setas indicam os aeradores.	59
Figura 5 - Representação dos aeradores em funcionamento nas seguintes coletas de campo: (a) setembro/05, (b) janeiro/06, (c) abril/06 e (d) julho/06.	60
Figura 6 - Implantação da ETE de Jacupiranga, em relação à direção cardeal.	60
Figura 7 - Sistema de lagoas de estabilização da cidade de Pariquera-Açu - SP: (A1) e (A2) lagoas anaeróbias em paralelo, e (F1) e (F2) lagoas facultativas com chicanas em paralelo.	61
Figura 8 - Implantação da ETE de Pariquera-Açu, em relação à direção cardeal.	62
Figura 9 - Distribuição das chicanas nas lagoas facultativas.	63
Figura 10 - Pontos amostrados nas lagoas de estabilização de Jacupiranga: (●) mensuração in situ de variáveis de monitoramento, a cada 10 cm, na coluna de água; (■) mensuração in situ de variáveis de monitoramento, na superfície; (1); (2); (3) e (4) caracterização de variáveis físicas, químicas e biológicas.	67

Figura 11 - Pontos amostrados nas lagoas de estabilização de Pariquera-Açu: (●) mensuração in situ de variáveis de monitoramento, a cada 10 cm, na coluna de água; (■) mensuração in situ de variáveis de monitoramento, na superfície; (1); (2); (3) e (4) caracterização de variáveis físicas, químicas e biológica.	67
Figura 12 - Seqüência de coleta, na ETE de Pariquera-Açu.	70
Figura 13 - Seqüência de coleta, na ETE de Jacupiranga.	72
Figura 14 - Seqüência de análises estatísticas.	73
Figura 15 - Seqüência para os testes de significância, realizado no ANOVA, para os dois sistemas, separadamente.	75
Figura 16 - Lâmina acumulada, mensalmente, de precipitação (mm), na cidade de Pariquera-Açu.	78
Figura 17 - Lâmina acumulada, mensalmente, de precipitação (mm), na cidade de Jacupiranga.	78
Figura 18 - Comportamento da lâmina de água (m), na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	84
Figura 19 - Comportamento da lâmina de água (m), na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).	85
Figura 20 - Espessura de lodo na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	86
Figura 21 - Espessura de lodo na lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu).	88
Figura 22 - Perfis de temperatura (°C) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.	92

Figura 23 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.	93
Figura 24 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.	95
Figura 25 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.	96
Figura 26 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.	97
Figura 27 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em julho/06.	98
Figura 28 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.	100
Figura 29 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.	101
Figura 30 - Transparência da água (m) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.	102
Figura 31 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na	104

segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 32 - Perfis de temperatura (°C) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 105

Figura 33 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 106

Figura 34 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 107

Figura 35 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06. 109

Figura 36 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06. 110

Figura 37 - Perfis de condutividade elétrica (µS.cm-1) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 112

Figura 38 - Perfis de condutividade elétrica (µS.cm-1) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º , 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 113

Figura 39 - Transparência da água (m) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em 114

quatro épocas do ano.

Figura 40: Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 117

Figura 41: Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 118

Figura 42 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 120

Figura 43 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 121

Figura 44 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06. 123

Figura 45 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em julho/06. 124

Figura 46 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1 $^{\circ}$, 2 $^{\circ}$ e 3 $^{\circ}$ dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 125

Figura 47 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), 126

meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Figura 48 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano. 128

Figura 49 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 131

Figura 50 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 132-

Figura 51 - Pontos amostrados, na lagoa facultativa com chicanas 2, em julho/06. 133

Figura 52 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 135

Figura 53 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 136

Figura 54 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06. 138

Figura 55 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias 139

consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

Figura 56 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 140

Figura 57 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 141

Figura 58 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano. 142

Figura 59 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e nas quatro épocas do ano. 145

Figura 60 - Perfis de pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e nas quatro época do ano. 146

Figura 61 - Transparência da água (m) no meio da lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano. 147

Figura: 62 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06. 151

Figura 63 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06. 152

Figura 64 - Pontos amostrados, na lagoa facultativa convencional, em julho/06. 153

Figura 65 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.	155
Figura 66 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.	156
Figura 67 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.	158
Figura 68 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.	159
Figura 69 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.	161
Figura 70 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.	162
Figura 71 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.	163
Figura 72 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de clorofila ($\mu\text{g.L}^{-1}$), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (M2), n:2, set/05.	167

(E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 73 - Demanda Química de Oxigênio ($\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$) média e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 168

Figura 74 - Sólidos suspensos orgânicos (SSO) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 172

Figura 75 - Sólidos suspensos totais (SST) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 173

Figura 76 - Sólidos suspensos inorgânicos (SSI) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 174

Figura 77 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrogênio total (mg.L^{-1}), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa 178

convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 78 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrogênio amoniacal (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 179

Figura 79 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrito (µg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 181

Figura 80 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 185

Figura 81 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de fósforo total (mg.L⁻¹) na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 186

Figura 82 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de dióxido de carbono total (mg.L⁻¹) na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da 190

lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 83 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de dióxido de carbono livre (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 191

Figura 84 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de bicarbonato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). n: 3. Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 195

Figura 85 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de carbonato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 196

Figura 86 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de carbono inorgânico (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06. 199

Figura 87 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de alcalinidade (mg.L⁻¹), na 200

entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 88 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fatores 1 e 2, na saída das lagoas anaeróbias (M1), ETE de Pariquera-Açu. 233

Figura 89 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõe o fator 1, na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), ETE de Pariquera-Açu. 235

Figura 90 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõe o fator 2, na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), ETE de Pariquera-Açu. 236

Figura 91 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fatores 1 e 2, na saída da lagoa facultativa 2 (SF2), ETE de Pariquera-Açu. 238

Figura 92 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 1, na saída da lagoa aerada (M2), ETE de Jacupiranga. 243

Figura 93 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 2, na saída da lagoa aerada (M2), ETE de Jacupiranga. 244

Figura 94 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 1, na saída da lagoa facultativa convencional (SF), ETE de Jacupiranga. 245

Figura 95 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 2, na saída da lagoa facultativa convencional (SF), ETE de Jacupiranga. 246

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de concentrações de variáveis que caracterizam o esgoto bruto e a água de escoamento superficial urbano.	36
Tabela 2 - Comparação entre as características do sistema combinado e os outros.	37
Tabela 3 - Intervalos de concentrações afluentes em ETEs do Estado de Minas Gerais e São Paulo e os presentes na literatura.	37
Tabela 4 - Concentrações de variáveis no afluente de sistema australiano, em Novo Horizonte – SP.	38
Tabela 5 - Concentrações de variáveis químicas, para classificação de afluente, de fraco a forte.	38
Tabela 6 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e faixas presentes na literatura.	39
Tabela 7 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e faixas presentes na literatura.	40
Tabela 8 - Parâmetros de projeto e operação utilizados na avaliação das condições de carga dos sistemas australianos.	41
Tabela 9 - Intervalos de concentrações efluentes em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e os presentes na literatura.	42
Tabela 10 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de	42

São Paulo e faixas presentes na literatura.

Tabela 11 - Características típicas de diferentes tipos de lagoas aeradas.	50
Tabela 12 - Dimensões das lagoas que compõem o sistema da cidade de Jacupiranga.	59
Tabela 13 - Dimensões das lagoas que compõem o sistema da cidade de Pariquera-Açu.	61
Tabela 14 - Sumário dos métodos de determinação das variáveis físicas, químicas e biológica.	69
Tabela 15 - Horários de determinação dos perfis no meio e na saída das lagoas anaeróbias 1 e 2, no sistema de Pariquera-Açu.	70
Tabela 16 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa com chicanas 1, no sistema de Pariquera-Açu.	71
Tabela 17 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa com chicanas 2, no sistema de Pariquera-Açu.	71
Tabela 18 - Horários de determinação dos perfis no meio da lagoa aerada, no sistema de Jacupiranga.	72
Tabela 19 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa convencional, no sistema de Jacupiranga.	72
Tabela 20 - Precipitação diária (mm), apenas nos dias que antecederam as coletas, na ETE de Pariquera-Açu.	79
Tabela 21 - Precipitação diária (mm), apenas nos dias que antecederam as coletas, na	80

ETE de Jacupiranga.

Tabela 22 - Velocidades de vento (m.s^{-1}), nas cidades de Pariquera-Açu e Jacupiranga, no período amostral.	81
Tabela 23 - Direção do vento na, ETE de Pariquera-Açu e de Jacupiranga, durante as coletas.	81
Tabela 24 - Radiação solar fotossinteticamente ativa ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos três dias consecutivos, em abril/06 e julho/06, em Pariquera-Açu.	82
Tabela 25 - Radiação solar fotossinteticamente ativa ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos três dias consecutivos, em abril/06 e julho/06, em Jacupiranga.	82
Tabela 26 - Altura média de água (m), área (m^2) e volume (m^3) ocupados por cada faixa de lâmina de água, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	84
Tabela 27 - Altura média de água (m), área (m^2) e volume (m^3) ocupados por cada faixa de lâmina de água, na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).	86
Tabela 28 - Área (m^2) e volume (m^3) de lodo, para cada espessura (m), na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	87
Tabela 29 - Área (m^2) e volume (m^3) de lodo, para cada espessura (m), na lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu).	88
Tabela 30 - Alturas de lâminas de água (cm) – H – e vazão (L.s^{-1}) – Q – a saída das lagoas facultativas com chicanas 1 e 2 (LF1 e LF2) e da convencional (LF), em três épocas do ano.	89

Tabela 31 - Tempo de detenção (d) - θ_t - nas lagoas facultativas com chicanas 1 e 2 (LF1 e LF2) e na convencional (LF), em três épocas do ano.	89
Tabela 32 - Cargas afluentes (kg.dia^{-1}) de fósforo total (PT), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e sólidos suspensos totais (SST), para cada lagoa anaeróbia (ETE de Pariquera-Açu) e lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).	90
Tabela 33 - Temperaturas médias na coluna de água, temperatura do ar, termoclinas, e radiação fotossinteticamente ativa, em 12 pontos, na lagoa facultativa com chicanas 2, em julho/06.	134
Tabela 34 - Temperaturas médias na coluna de água, temperatura do ar, termoclinas, e radiação fotossinteticamente ativa, em 12 pontos, na lagoa facultativa convencional, em julho/06.	154
Tabela 35 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 1.	202
Tabela 36 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 2.	202
Tabela 37 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldhal e fósforo total – nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).	204
Tabela 38 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).	204
Tabela 39 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – nas lagoas anaeróbias (ETE de	205

Pariquera-Açu).

Tabela 40 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).	206
Tabela 41 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).	208
Tabela 42 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).	208
Tabela 43 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).	209
Tabela 44 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).	210
Tabela 45 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).	211
Tabela 46 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).	212
Tabela 47 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa 1 (ETE de Pariquera-Açu).	213

Tabela 48 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa 2 (ETE de Pariquera-Açu).	214
Tabela 49 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 1.	215
Tabela 50 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total - na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).	216
Tabela 51 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).	217
Tabela 52 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).	217
Tabela 53 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).	218
Tabela 54 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total - na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	220
Tabela 55 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	221
Tabela 56 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	222

Tabela 57 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).	223
Tabela 58 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – no tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga).	224
Tabela 59 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila a e DQO, no tanque de cloração (ETE de Jacupiranga).	225
Tabela 60 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – no tanque de cloração (ETE de Jacupiranga).	226
Tabela 61 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, no tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga).	227
Tabela 62 - Variáveis significativas de perfis, nas quatro épocas do ano, na ETE de Pariquera-Açu.	230
Tabela 63 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída das lagoas anaeróbia (M1), na ETE de Pariquera-Açu (n: 11).	231
Tabela 64 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), na ETE de Pariquera-Açu (n: 10).	234
Tabela 65 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa 2 (SF2), na ETE de Pariquera-Açu.	237

Tabela 66 - Variáveis significativas de perfis, nas quatro épocas do ano, na ETE de Jacupiranga. 240

Tabela 67 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa aerada (M2), na ETE de Jacupiranga. 242

Tabela 68 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa convencional (SF), na ETE de Jacupiranga. 244

LISTA DE SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de variância
c1, c2, c3 e c4	Coletas de setembro/05, janeiro/05, abril/06 e julho/06
CIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CO ₂ total	Dióxido de carbono total
CO ₂ livre	Dióxido de carbono livre
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C-inorgânico	Carbono inorgânico
d1, d2 e d3	Dias de coleta
DBO	Demanda biológica de oxigênio
DP	Desvio padrão
DQO	Demanda química de oxigênio
E	Entrada dos sistemas; entrada da lagoa
E-W	Direção leste - oeste
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
N-S	Direção norte - sul
NE-SW	Direção nordeste - sudoeste
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
H	Altura da lâmina de água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LA1	Lagoa anaeróbia 1
LA2	Lagoa anaeróbia 2
LF	Lagoa facultativa convencional
LF1	Lagoa facultativa com chicanas 1
LF2	Lagoa facultativa com chicanas 2
Ls	Taxa de aplicação superficial
Lv	Taxa de aplicação volumétrica
M	Meio da lagoa
M1	Saída das lagoas anaeróbias

M2	Saída da lagoa aerada
OD	Concentrações de oxigênio dissolvido
PCA	Análise do componente principal
pH	Potencial hidrogeniônico
PT	Fósforo total
Q	Vazão
RFA	Radiação fotosinteticamente ativa
S	Saída da lagoa
S-N	Direção Sul - norte
SE-NW	Direção sudeste - noroeste
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SF	Saída da lagoa facultativa convencional
SSI	Sólidos suspensos inorgânicos
SSO	Sólidos suspensos orgânicos
SST	Sólidos suspensos totais
STC	Saída do tanque de cloração
T	Temperatura
TDH ou θ_t	Tempo de detenção hidráulico
UNEP	United Nations Environment Programme
V	Volume
VTSF	Variação entre a temperatura na superfície e no fundo
W-E	Direção oeste - leste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
2	OBJETIVOS	34
3	Revisão Bibliográfica	35
3.1	Características operacionais de lagoas de estabilização	35
3.2	Metabolismo de lagoas de estabilização	42
3.3	Estratificação térmica e eficiência de remoção	53
4	MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1	Características da área de estudo	57
4.2	Variáveis climatológicas e operacionais	63
4.3	Pontos de amostragem e variáveis físicas e químicas	66
4.4	Horários e seqüências de amostragem	69
4.5	Análise estatística	73
5	RESULTADOS	
5.1	Variáveis climatológicas – precipitação, radiação solar incidente e vento	77
5.2	Variáveis operacionais – volume de lodo, de água, vazão, tempo de detenção hidráulico calculado	83
5.3	Variáveis físicas e químicas	90
5.4	Variáveis analisadas para verificar o funcionamento dos sistemas: clorofila <i>a</i> , DQO, sólidos suspensos, formas nitrogenadas, forma fosfatada, forma de carbono e alcalinidade.	164
5.5	Eficiências de redução calculadas para os dois sistemas de lagoas de estabilização	201
5.3	Análise dos resultados com auxílio de ferramenta estatística	228
6	DISCUSSÃO	247
7	CONCLUSÕES	275
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	279

1. INTRODUÇÃO

Nos corpos de água ocorre um fenômeno natural denominado autodepuração que consiste na degradação da matéria orgânica por processo físico, químico e biológico. Esse fenômeno pode ocorrer sem que haja desequilíbrio ambiental. Para tanto é necessário que a carga lançada no sistema aquático não ultrapasse a capacidade suporte desses, ou seja, que o limite de lançamento seja menor ou igual à máxima carga que o corpo de água é capaz de assimilar e degradar a fim de que não haja consequências significativas à comunidade aquática.

O crescimento econômico e o desenvolvimento das cidades resultam, inevitavelmente, em aumento de geração de esgoto doméstico, assim como de outras águas residuárias, tais como as de origem industrial. Diante deste contexto, a melhor maneira de desenvolvimento sem submeter-se ao retrocesso econômico e social é através do desenvolvimento sustentável, ou seja, crescimento econômico e social aliado à conservação ambiental.

Para esta finalidade, alguns municípios têm utilizado lagoas de estabilização a fim de melhorar a qualidade dos esgotos domésticos antes do seu lançamento nos corpos receptores. Tais sistemas são construídos para receber as águas residuárias e degradar, de forma natural, a matéria orgânica, de maneira que o efluente atinja os padrões assimiláveis pelos cursos de água, que, complementa a degradação, sem desequilíbrio do sistema aquático.

Basicamente, as lagoas de estabilização são subdivididas em: anaeróbia, facultativa e de maturação. Essas lagoas são diferenciadas pela quantidade de oxigênio disponível para as reações bioquímicas catalisadas por enzimas produzidas por microrganismos. Entre as variações dessas lagoas, destacam-se as com chicanas e as aeradas mecanicamente, objetos de estudo desta pesquisa. As lagoas com chicanas diferem das convencionais devido à presença

de subdivisões (chicanas) que as tornam equivalentes à composição de pequenas lagoas em série, criando condições para ocorrência de escoamento pistonado e conseqüentemente redução de volume morto, o que teoricamente as tornam mais eficientes com relação à redução de matéria orgânica. As lagoas aeradas diferenciam no suprimento de oxigênio, que ocorre principalmente por mecanismos artificiais, tais como aeradores.

As principais vantagens dos sistemas de lagoas de estabilização são: elevada eficiência redução de matéria orgânica e baixo custo de manutenção. Além disso, o clima tropical é favorável a esse tipo de sistema, pois as elevadas temperaturas aceleram a velocidade das reações químicas para a estabilização de matéria orgânica. Entre as desvantagens, destaca-se a necessidade de grandes áreas para a sua implantação, embora sistemas de lagoas em série reduzam a quantidade de área necessária quando comparados a sistemas de apenas uma lagoa; outra desvantagem é a dependência às condições climáticas. Esse sistema é ideal para cidades pequenas – devido ao menor volume de esgoto diário, portanto menor área de implantação – de clima tropical.

Assim, essa pesquisa teve como objetivo principal fornecer informações para o aprimoramento dos sistemas de lagoas de estabilização localizados em região tropical. Para tanto, foi realizada a comparação de dois sistemas de lagoas: um composto por lagoa aerada mecanicamente e lagoa facultativa convencional (ETE da cidade de Jacupiranga) e outro composto por lagoas anaeróbias em paralelo seguidas por lagoas facultativas com chicanas em paralelo (ETE da cidade de Pariquera-Açu). A comparação e a análise do desempenho dos sistemas foram feitas através da caracterização física, química e biológica dos afluentes e efluentes das lagoas que compõem os sistemas, em escala diária (três dias consecutivos) e sazonal (em quatro épocas do ano).

Estações no interior das lagoas foram escolhidas com função de observar a heterogeneidade espacial de oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e

potencial hidrogeniônico (pH). Esse estudo também foi realizado em escala diária (três dias consecutivos) e sazonal (quatro épocas do ano). Com esta análise pretendeu-se identificar nas lagoas a existência de estratificação térmica e química, relacioná-las entre si, com as condições ambientais e com suas eficiências. Além disso, foi observada a distribuição de lodo em uma das lagoas facultativas com chicanas e da lagoa facultativa convencional através de batimetria realizada em julho/06. Com estes dados foram determinados o volume real de água e o tempo de detenção hidráulico teórico nas lagoas. Também em julho/06, nas duas lagoas mencionadas anteriormente, foram amostrados mais pontos internamente para melhor caracterizar a heterogeneidade espacial de temperatura.

Essa pesquisa está inserida no Projeto Temático FAPESP denominado “Estudo dos sistemas naturais e artificiais redutores de cargas poluidoras para a sustentabilidade dos recursos hídricos do Baixo Ribeira do Iguape (SP)”, coordenado pela Professora Titular Maria do Carmo Calijuri (Número Processo: 02/13449-1).

Neste contexto, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de complementação dos estudos que estão sendo realizados nos sistemas construídos redutores de cargas poluidoras nas microbacias do rio Jacupiranga e Pariquera-Açu. Além disso, foi proposto o estudo das condições de operação de lagoas de estabilização, através da análise dos perfis verticais de variáveis físicas e químicas; das condições ambientais e da batimetria. Com os perfis verticais e os dados climatológicos, pretendeu-se corroborar a hipótese de que a estratificação térmica relaciona-se à estratificação química e que ambas são dependentes das condições ambientais, e estas, por sua vez, estão relacionadas ao desempenho da estabilização da matéria orgânica.

2. OBJETIVOS

Com o propósito de comparar dois sistemas de lagoas de estabilização, localizados no Baixo Ribeira de Iguaçu – um composto por lagoa aerada mecanicamente seguida de lagoa facultativa (cidade de Jacupiranga) e outro composto por lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas com chicanas (cidade de Pariquera-Açu) – foram definidos os seguintes objetivos:

1. Caracterizar os dois sistemas de tratamento através de variáveis físicas, químicas e biológicas no afluente e efluente de cada lagoa, em quatro épocas do ano e três dias consecutivos;
2. Definir os perfis de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica, em quatro épocas do ano e três dias consecutivos;
3. Relacionar os tipos de estratificação (térmica e química) entre si e também com o desempenho do sistema;
4. Determinar o volume real de água, a distribuição e volume de lodo e o tempo de detenção hidráulico nas lagoas facultativas dos dois sistemas, através da batimetria.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As lagoas de estabilização são constituídas de escavações rasas cercadas por taludes de terra e, geralmente, têm a forma retangular ou quadrada (MENDONÇA, 1990a). Elas podem ser destinadas à degradação de compostos provenientes de esgotos domésticos, industriais ou atividades agrícolas que, através da ação de microrganismos, são degradados por ação enzimática, a qual catalisa as reações bioquímicas.

3.1. Características operacionais de lagoas de estabilização

O esgoto de origem doméstica é composto principalmente de matéria orgânica. Comparação entre esgoto bruto e águas de escoamento superficial urbano, que consta em UNEP (2004), é apresentada na Tabela 1. Nesta Tabela, nota-se que as concentrações de matéria orgânica dissolvida (demanda química de oxigênio - DQO, sólidos totais dissolvidos – STD e demanda bioquímica de oxigênio - DBO), assim como a concentrações de nutrientes (nitrogênio Kjeldahl – NTK e fósforo total), são menores nas águas superficiais, porém as concentrações máximas observadas de sólidos suspensos totais (SST) são menores no esgoto bruto.

Outra comparação de Metcalf e Eddy (2003) apresentou faixas de concentrações para água de chuva, água de escoamento superficial, efluente doméstico (separação absoluta) e sistema combinado (água de escoamento superficial + afluente doméstico) (Tabela 2). Através desta Tabela, nota-se que as concentrações de matéria orgânica dissolvida, expressada pela DBO, e nutrientes são mais diluídas em sistemas combinados, porém as concentrações de

sólidos suspensos totais são maiores em sistemas combinados. No Brasil, o sistema de separação absoluta é utilizado, já que existe separação entre a rede de águas pluviais e de esgoto doméstico e industrial para o descarte águas residuárias; assim, apenas os esgotos domésticos e industriais são lançados nas estações de tratamento.

Tabela 2 - Faixa de concentrações de variáveis que caracterizam o esgoto bruto e a água de escoamento superficial urbano.

Variáveis	Esgoto bruto	Água de escoamento superficial urbano
SDT (mg.L ⁻¹)	400-2500	-
SST (mg.L ⁻¹)	160-1350	3-11000
DBO (mg.L ⁻¹)	120-1000	10-250
DQO (mg.L ⁻¹)	280-2500	-
Nitrogênio Kjeldahl (mg.L ⁻¹)	30-200	3-10
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	4-50	0,2-1,0

Fonte: UNEP (2004).

A Tabela 3, de Oliveira e von Sperling, (2005a), mostra intervalos de concentrações de esgoto bruto doméstico em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) localizadas em Minas Gerais (MG) e São Paulo (SP), comparadas com as de literatura, ou seja, com as concentrações esperadas. Nessa tabela, observa-se que, em geral, as concentrações de variáveis de esgoto afluentes obtidas em São Paulo e Minas Gerais estiveram fora da faixa de concentrações normalmente observadas em 25% a 86% das ETEs. Pode-se, também, observar que as concentrações médias de DBO e DQO, variáveis que expressam matéria orgânica dissolvida, nas ETEs de MG e SP, foram maiores que as máximas citadas pela literatura. As concentrações médias de SST e NTK estiveram próximas das máximas obtidas na literatura.

Tabela 3 - Comparação entre as características do sistema combinado e os outros.

Variáveis	Chuva	Escoamento superficial urbano	Sistema combinado	Afluente doméstico
SST (mg.L ⁻¹)	<1	67-101	270-550	120-370
DBO (mg.L ⁻¹)	1-13	8-10	60-220	120-380
DQO (mg.L ⁻¹)	9-16	40-73	260-480	260-900
Nitrogênio Kjeldahl (mg.L ⁻¹)	-	0,43-1,0	4-17	20-45
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,05-1,0	0,48-0,91	-	-
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,02-0,15	0,67-1,66	1,2-2,8	4-12

Fonte: Adaptada de Metcalf e Eddy (2003).

Tabela 4 - Intervalos de concentrações afluentes em ETEs do Estado de Minas Gerais e São Paulo e os presentes na literatura.

Variáveis	Literatura		ETEs de MG e SP		% de ETEs fora das concentrações da literatura
	Faixa	Típica	Faixa	Média	
DBO (mg.L ⁻¹)	200-500	350	284-804	527	51
DQO (mg.L ⁻¹)	400-800	700	505-1616	1113	86
SST (mg.L ⁻¹)	200-450	400	202-527	435	42
NTK (mg.L ⁻¹)	35-70	50	39-84	66	44
Fóforo total (mg.L ⁻¹)	4-15	7	2-14	8	25

Fonte: Oliveira e von Sperling (2005a).

Falco (2005) apresentou as características do afluente, em período sazonal, coletados durante a manhã, de um sistema australiano localizado em Novo Horizonte- SP, conforme a Tabela 4. Neste sistema, as maiores concentrações de sólidos suspensos totais, orgânicos (SSO) e inorgânicos (SSI) e nutrientes foram observadas em novembro, enquanto que as menores, em maio. Metcalf e Eddy (2003) apresentaram intervalos de concentrações para classificação de esgoto doméstico de fraco a forte, conforme a Tabela 5, sendo que o esgoto

fraco foi caracterizado como esgoto com menores concentrações de matéria orgânica e nutrientes, enquanto que o forte, com maiores.

Tabela 5 - Concentrações de variáveis no afluyente de sistema australiano, em Novo Horizonte – SP.

Variáveis	Mai/02	Ago/02	Nov/03	Fev/03
SST (mg.L ⁻¹)	120	210	400	290
SSO (mg.L ⁻¹)	95	160	315	251
SSI (mg.L ⁻¹)	25	50	85	39
DQO (mg.L ⁻¹)	250	430	800	880
NTK (mg.L ⁻¹)	20	40	70	88
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	4	7	12	9

Fonte: adaptado de Falco (2005).

Tabela 6 - Concentrações de variáveis químicas, para classificação de afluyente, de fraco a forte.

Variáveis	Esgoto Fraco	Esgoto Médio	Esgoto Forte
SST (mg.L ⁻¹)	120	210	400
SSO (mg.L ⁻¹)	95	160	315
SSI (mg.L ⁻¹)	25	50	85
DQO (mg.L ⁻¹)	250	430	800
NTK (mg.L ⁻¹)	20	40	70
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	4	7	12

Fonte: Adaptada de Mactcalf e Eddy (2003).

As lagoas de estabilização destinadas ao tratamento de esgoto doméstico, em geral, são projetadas para remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e por isso a eficiência de remoção é avaliada, principalmente, para esta variável (VON SPERLING, 1996b; KELLNER; PIRES, 1998; SHILTON; HARRISON, 2003; OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005b). O mesmo ocorre para outros sistemas projetados para degradação de

esgoto doméstico, de forma que, nos sistemas de tratamento do Estado de São Paulo, inserindo-se lagoas de estabilização, em geral, a remoção de nutrientes é baixa (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005a).

Os sistemas australianos são capazes de remover de 30 a 50 % de nitrogênio total e de 20 a 60 % de fósforo total (VON SPERLING, 1996a; VON SPERLING, 1996b). Também, segundo Shilton e Harrison (2003), as lagoas de estabilização podem remover 45% em média de fósforo total.

Na pesquisa com 40 sistemas australianos do Estado de São Paulo, Oliveira e von Sperling (2005a) obtiveram faixas de eficiências e as compararam com faixas típicas reportadas pela literatura. Estes intervalos de concentrações estão na Tabela 6, onde se pode observar que as porcentagens de redução de DBO, SST e fósforo total nas lagoas de SP e MG foram maiores que os da literatura para aproximadamente 50% das lagoas (entre 45 e 68%). Segundo os autores, os sistemas australianos estiveram com bom desempenho, já que, um percentual expressivo de ETes esteve com eficiências acima do limite superior das faixas consideradas.

Tabela 7 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e faixas presentes na literatura.

Variáveis	Literatura	ETEs de MG e SP	% de ETes fora das concentrações da literatura
DBO (%)	75 a 85	73 a 88	45
DQO (%)	65 a 80	65 a 78	17
SST (%)	70 a 80	35 a 78	56
NTK (%)	< 60	26 a 60	12
Fósforo total (%)	< 35	20 a 50	68

Fonte: adaptada de Oliveira e von Sperling (2005a).

Falco (2005) apresentou eficiências de redução, em período sazonal, de sistema australiano localizado em Novo Horizonte - SP, conforme a Tabela 7. Em geral, as maiores eficiências foram observadas em fevereiro, enquanto que as menores, em agosto. Em fevereiro, este sistema de lagoas reduziu maiores porcentagens de SST, DQO e NTK, do que os valores normalmente observados em literatura, conforme comparação entre as Tabelas 6 e 7.

Tabela 8 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e faixas presentes na literatura.

Variáveis	Mai/02	Ago/02	Nov/02	Fev/03
SST (%)	60	42	65	84
SSO (%)	61	43	69	84
SSI (%)	55	38	40	82
DQO (%)	72	69	73	83
NTK (%)	44	41	41	65
Fósforo total (%)	28	46	35	*

* Houve aumento desta variável no efluente final.
Fonte: adaptada de Falco (2005).

Oliveira e von Sperling (2005b) observaram que grande parte das lagoas anaeróbias localizadas no Estado de São Paulo funcionava com subcarga hidráulica, ou seja, com tempos de detenção hidráulico (TDH) bem acima do usual, mas isso pareceu não ter reflexo no desempenho de redução DBO. As vazões obtidas pelos autores foram em média $1793 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, sendo no máximo $9742 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ e no mínimo $173 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Na mesma pesquisa, houve situações de lagoas com baixas taxas de aplicação volumétricas (L_v), ou seja, baixa carga de DBO em função do volume da lagoa, porém nenhuma lagoa anaeróbia excedeu a taxa volumétrica máxima. Os autores também concluíram que, nas lagoas facultativas, a taxa de aplicação superficial (L_s), ou seja, a carga de DBO em função da área superficial da lagoa

pareceu não influir expressivamente no desempenho, de forma que foi possível observar casos de eficiências muito baixas em situações de subcargas e de altas eficiências para ETes em sobrecarga. Também foram observadas ETes operando dentro dos intervalos usuais (Tabela 8), sem boa eficiência correspondente.

Tabela 9 – Parâmetros de projeto e operação utilizados na avaliação das condições de carga dos sistemas australianos.

	Anaeróbia	Facultativa
TDH (dias)	3-6	15-45
Lv (kg DBO.m ⁻³ .dia)	0,10-0,35	-
Ls (kg DBO.ha ⁻³ .dia)	-	150-300

Fonte: adaptada de Oliveira e von Sperling (2005b).

Com relação à qualidade de efluente gerada pelas lagoas que compõem o sistema australianos, Oliveira e von Sperling (2005a) obtiveram intervalos de concentrações efluentes e os compararam com faixa de concentrações citadas pela literatura. Esta comparação está na Tabela 9, e retrata que as concentrações efluentes de DBO, DQO e SST estiveram acima das esperadas, já que as faixas de concentrações observadas estiveram acima das obtidas em literatura; e as de NTK e fósforo total (PT) estiveram dentro do esperado.

Falco (2005) apresentou características do efluente final, em período sazonal, mensuradas pela manhã, em sistema de estabilização australianos, localizado em Novo Horizonte – SP (Tabela 10). Neste sistema, as maiores concentrações de sólidos e nutrientes foram observadas em agosto, enquanto que as menores em fevereiro.

Na legislação brasileira há alguns padrões de lançamento de efluente que devem ser atendidos, os quais estão descritos na Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) e são: pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40 °C e concentrações de nitrogênio amoniacal inferiores a 20 mg.L⁻¹.

Tabela 10 - Intervalos de concentrações efluentes em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e os presentes na literatura.

Variáveis	Literatura	Observadas
DBO (mg.L ⁻¹)	50 a 80	54 a 133
DQO (mg.L ⁻¹)	120 a 200	213 a 421
SST (mg.L ⁻¹)	60 a 90	80 a 236
NTK (mg.L ⁻¹)	> 20	26 a 69
PT (mg.L ⁻¹)	> 4	4 a 8

Fonte: adaptada de Oliveira e von Sperling (2005a).

Tabela 11 - Faixas de eficiências obtidas em 43 sistemas australianos do Estado de São Paulo e faixas presentes na literatura.

Variáveis	Mai/02	Ago/02	Nov/02	Fev/03
SST (mg.L ⁻¹)	106	210	113	47
SSO (mg.L ⁻¹)	85	178	91	40
SSI (mg.L ⁻¹)	21	32	21,5	7
DQO (mg.L ⁻¹)	330	392	287	151
NTK (mg.L ⁻¹)	49	62	45	31
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	18	14	19	11

Fonte: adaptada de Falco (2005).

3.2. Metabolismo de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização podem ser classificadas como: anaeróbia, facultativa e de maturação. Segundo von Sperling (1996b), as duas primeiras têm como objetivo principal a remoção de matéria orgânica, sendo que se diferem quanto à quantidade de oxigênio

disponível para a atividade biológica; e a lagoa de maturação tem como objetivo principal a remoção de patógenos e de nutrientes.

Outros processos ocorrem simultaneamente aos citados anteriormente: (a) oxidação da amônia, (b) desnitrificação, (c) sedimentação do fósforo e (d) geração de biomassa. A possibilidade de promover, simultaneamente, vários processos é uma das vantagens das lagoas de estabilização, já que, em geral, os sistemas de tratamento são constituídos por várias unidades, cada uma delas cumprindo objetivos específicos.

As lagoas **anaeróbias** são compartimentos projetados para redução de matéria orgânica de forma anóxica ou anaeróbia. Para criar tais condições, estas lagoas têm área superficial reduzida, grande profundidade (da ordem de 4 a 5 m, segundo VON SPERLING, 1996b); tal configuração promove remoção de DBO da ordem de 50 a 60 %. Essas lagoas recebem cargas orgânicas maiores que $100 \text{ gDBO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, os sólidos suspensos sedimentam por gravidade e são degradados de forma anaeróbia no fundo (GAWASIRI, 2003).

A degradação da matéria orgânica nas lagoas anaeróbias inicia-se através da degradação ácida, realizada por bactérias fermentativas e acetogênicas, em que compostos orgânicos complexos são convertidos em moléculas orgânicas mais simples e outros compostos, tais como gás carbônico, hidrogênio, ácidos orgânicos, acetato, entre outros. Após a formação de principalmente ácido acético, ocorre a segunda etapa nomeada por metanogênese, que se refere à conversão de ácido acético a metano e dióxido de carbono, por bactérias metanogênicas (KÖNIG, 1990; CHERNICHARO, 1997).

Mara e Person (1986) mencionou que a metanogênese é o principal mecanismo de remoção de carbono nas lagoas anaeróbias e citou que esse processo depende de pH em torno de 6,4 e 7,2. König (1990) explicou que as bactérias metanogênicas são sensíveis a mudanças de temperatura e pH e que são microrganismos estritamente anaeróbios, ou seja, que oxigênio

dissolvido é extremamente tóxico para elas. A autora afirmou que o sucesso das lagoas anaeróbias depende do equilíbrio entre as duas populações (a formadora de ácidos orgânicos e as formadoras de metano) e que as temperaturas devem permanecer acima de 15 °C, igualmente descrito por Mara e Person (1986), e o pH deve estar entre 6,8 e 7,4.

Outra maneira de formação de ácidos orgânicos ocorre sob condições anóxicas, também existentes nas lagoas anaeróbias, na presença de microrganismos quimiorganotróficos (anaeróbios facultativos), que utilizam nitrato como aceptor de elétrons, e degradam grande parte de lipídeos, carboidratos e proteínas, formando ácidos orgânicos (MARA; PERSON, 1986). Outros compostos utilizados como fonte de carbono são metanol, etanol, ácido acético (ASCE, 2005). Nesse processo, denominado desnitrificação, o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso (CHERNICHARO, 1997; MIETTINEN et al., 2004; ASCE, 2005).

Segundo Wetzel (1993), a desnitrificação, realizada por bactérias anaeróbias facultativas, são intensas nos ambientes e sedimentos anóxicos. O autor a exemplificou através de duas Equações. A primeira (Equação 1) representa a redução de nitrato a nitrito e a segunda (Equação 2) a redução de nitrito a gás nitrogênio, ambas com consumo de composto orgânico.

Metcalf e Eddy (1991) explicaram que mínima quantidade de oxigênio inibe a remoção de nitrogênio, ou seja, quando as concentrações de oxigênio dissolvido tendem a 1 mg/L, a desnitrificação tende a 0.

Há também o processo denominado amonificação, que consiste na transformação de nitrogênio orgânico em amônio (MIETTINEN et al., 2004). Tal processo é realizado por bactérias fermentativas acidogênicas, sendo que a maioria é anaeróbia estrita (CHERNICHARO, 1997).

As bactérias, de forma geral, também utilizam nitrogênio amoniacal para sintetizar novas células. Porém, as bactérias podem utilizar outras formas de nitrogênio para obter energia (METCALF; EDDY, 2003).

Quanto à remoção de fósforo, a sua eficiência depende da comparação da quantidade desse composto que deixa a coluna de água e entra no sedimento através de sedimentação (a maioria como fósforo orgânico que compõe a biomassa) e precipitação (como fosfatos insolúveis), com a quantidade que retorna via mineralização e solubilização (MARA; PERSON, 1986).

As lagoas **facultativas** são divididas em zonas: anaeróbia, facultativa e aeróbia. Basicamente, em condições ideais, a matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Esse lodo é decomposto por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros. Após certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo (VON SPERLING, 1996b).

A matéria orgânica dissolvida, conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões, permanece dispersa na massa líquida. Na camada superficial, tem-se a zona aeróbia. As lagoas facultativas são projetadas para carga superficial de aproximadamente $250 \text{ kgDBO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ a fim de garantir a fotossíntese e, indiretamente, o crescimento de algas que garanta oxigênio suficiente para suprir a demanda (VON SPERLING, op cit.).

Em lagoas de estabilização, a maioria das algas ocupa aproximadamente os primeiros 20 cm e se movimenta na coluna de água, em resposta à variação nas concentrações de nutrientes, incidência de luz e estratificação térmica (PEARSON et al., 1987). Segundo Mara e Person (1986), a zona aeróbia ocupa entre 30 a 40 cm da superfície, durante horas do dia, como resultado do oxigênio produzido pela população de algas. Na camada superficial, o oxigênio é utilizado pela população de bactérias aeróbias facultativas que oxida compostos orgânicos solúveis presentes nas águas residuárias ou produzidos pela fermentação de bactérias nas camadas mais profundas denominada zona anóxica (MARA; PERSON, op cit.). O oxigênio das camadas mais superficiais também pode oxidar o metano produzido no sedimento anaeróbio (GIRALDO; GARZÓN, 2002).

No metabolismo aeróbio, as bactérias produzem gás carbônico entre outros compostos que são posteriormente assimilados pelas algas. Tem-se assim, em condições ideais, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico (VON SPERLING, 1996b).

Nas lagoas facultativas convencionais, o tratamento ocorre pela simbiose entre bactérias e algas que consiste na relação descrita acima. A quantidade e a atividade dos microrganismos são controladas principalmente por mudanças periódicas de pH, temperatura e intensidade luminosa. A variação de pH, por sua vez, é controlada pela fotossíntese na medida em que as algas absorvem CO_2 , durante o dia, tornando o meio menos ácido, e durante a noite a absorção através da respiração ocorre aumento das concentrações de CO_2 e o meio torna-se mais ácido.

Von Sperling (op cit.) explicou que o pH depende da fotossíntese e da respiração e que varia na coluna de água. Quando a fotossíntese é predominante, além de predominar o consumo de CO_2 , ocorre a conversão do íon bicarbonato (HCO_3^-) e o pH aumenta. Quando a respiração predomina, além do predomínio de produção de CO_2 , o íon bicarbonato (HCO_3^-) se

converte em H^+ e o pH diminui. König et al. (1987) também relataram que os altos valores de pH ($>9,0$) são comuns durante períodos de intensa fotossíntese algal devido à rápida remoção de dióxido de carbono dissolvido que favorece íons hidroxila sobre bicarbonato.

Quanto à redução de nutrientes, Mara e Person (op cit.) relatou que é provável que a nitrificação nas lagoas seja mínima. Uma das evidências foram as baixas concentrações de bactérias nitrificantes encontradas em lagoas facultativas. O autor também afirmou que as concentrações de nitrato e nitrito nesses sistemas são baixas.

Segundo Metcalf e Eddy (1991), longos tempos de detenção favorecem o desenvolvimento de bactérias nitrificantes, um processo que se beneficia de baixas concentrações de amônia livre. A inibição de bactérias nitrificantes pode ocorrer sob concentrações de amônia de aproximadamente 10 mg/L (*Nitrossomonas*) e 0,1 – 6 mg/L (*Nitrobacter*) (US EPA¹, 1993 apud EVANS et al., 2005).

Tal fato foi observado por Patrick e Paul (1997), em lagoas facultativas localizadas na Austrália, onde nos meses mais frios, os tempos de detenção nas lagoas foram mais altos e a redução de nitrogênio amoniacal e o aumento das concentrações de nitrato e nitrito, assim como as condições aeróbias na coluna de água, sugeriram que o principal mecanismo de remoção de nitrogênio foi a nitrificação.

A oxidação realizada pelas bactérias, além de converter matéria orgânica em gás carbônico, a converte juntamente em amônio e fosfatos, que são utilizados pelas algas posteriormente (simbiose) (KÖNIG, 2000).

Sob elevados valores de pH, em torno de 10, pode ocorrer a conversão de amônio (NH_4^+) em amônia livre (NH_3), a qual é tóxica, mas tende a ser liberada para a atmosfera (von Sperling, 1996). A perda da amônia por volatilização é mais provável sob altas temperaturas e

---

¹ U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process Design Manual for Nitrogen Control**. Washington: Office of Technology Transfer, 1993.

pH. Os altos níveis de pH encontrados em lagoas facultativas podem resultar na remoção de significativa quantidade de amônia por volatilização (KONIG et al., 1987).

Entretanto, Mara e Person (1986) citou que para pH maiores que 9,5, o principal mecanismo de redução de nitrogênio não foi a volatilização da amônia e sim a sedimentação de nitrogênio orgânico via atividade metabólica, ou seja, após a morte das algas, elas sedimentaram, reduzindo as concentrações de nitrogênio na coluna de água. Para Valero e Mara (2007), a via metabólica dominante para nitrogênio seguiu a seguinte sequência: absorção de amônia pelas algas, transformação em nitrogênio orgânico e sedimentação, de forma que a volatilização não foi mecanismo significativo, embora sob condições favoráveis (pH entre 8,9 e 10,1; e temperatura entre 15,2 e 18,8 °C).

Outro processo que ocorre com nutrientes é realizado por bactérias anóxicas, existentes nas camadas mais profundas das lagoas facultativas, que utilizam nitrato como acceptor de elétrons. Von Sperling (1996b) explicou que na ausência de oxigênio livre, outros aceptores de elétrons, como nitratos (condições anóxicas) e sulfatos e CO₂ (condições anaeróbias) são utilizados e que a zona onde esses processos ocorrem é denominada zona facultativa.

Quanto à remoção de fósforo, o ortofosfato solúvel, liberado por bactérias após a decomposição, é assimilado pelas algas (MENDONÇA, 1990a). Algas constituem o mais significativo componente de fósforo orgânico na coluna de água, pois incorporam grande quantidade de ortofosfato (MARA; PERSON, 1986).

Outro mecanismo de remoção de fosfatos é a sua precipitação como hidroxipatita (Ca₅(PO₄)₃OH), nas lagoas facultativas e de maturação, onde elevados valores de pH podem ser encontrados. A precipitação inicia-se em pH 8,2 e para cada aumento de uma unidade no pH, a concentração de fosfato decresce de um fator 10 (MARA et al., 1992). Von Sperling

(1996b) também relatou sobre a precipitação dos fosfatos, como remoção de nutrientes, sob condições de elevados valores de pH, em torno de 10.

Todos esses processos descritos para lagoas de estabilização ocorrem em função das condições ambientais como radiação solar, entre outros. Assim, essas lagoas estão sujeitas à variação ambiental e operam em zonas definidas pelo ciclo luz-escuro (KAYOMBO, 2002).

Segundo Reynolds e Richards (1995), as lagoas **aeradas** podem ser classificadas como aeróbia ou facultativa, dependendo do perfil de oxigênio dissolvido. Para Mendonça (1990b), as lagoas aeradas mecanicamente podem ser classificadas em três tipos – aeróbia com mistura completa, facultativa ou com aeração prolongada – dependendo da presença ou não de reciclagem de lodo e da eficiência da mistura e da duração de aeração.

Para Arceivala² (1998 apud Metcalf e Eddy, 2003), as lagoas podem ser classificadas quanto à maneira como os sólidos são dispersos: (a) facultativa parcialmente misturada; (b) aeróbia com fluxo contínuo e mistura parcial; (c) aeróbia com reciclo de sólidos e mistura completa. A diferença na maneira em que os sólidos estão dispersos afeta a eficiência de tratamento, a energia requerida, o tempo de detenção hidráulico e de sólidos e a disposição de sólidos (Tabela 11).

A lagoa facultativa aerada é denominada facultativa, quando a quantidade de energia introduzida pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos orgânicos dispersos na massa líquida. Nesse caso, tais sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo de fundo, a ser decomposta anaerobiamente. A matéria orgânica solúvel e de menor dimensão permanece na massa líquida e é decomposta aerobiamente (VON SPERLING, 1996b; METCALF; EDDY, 2003).

---

² METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4^a ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003. p. 1815.

Tabela 12 - Características típicas de diferentes tipos de lagoas aeradas.

Variáveis	Aerada facultativa	Aerada aeróbia de fluxo contínuo	Aerada aeróbia com reciclo de sólidos
SST (mg.L-1)	50-200	100-400	1500-3000
SSO/SST	50-80	-	-
Tempo de detenção hidráulico (d)	4-10	3-6	0,25-2
Regime de mistura	Parcialmente misturada	Parcialmente misturada	Totalmente Misturada
Lodo	Acúmulo de lodo internamente à lagoa	Acúmulo de lodo externamente facilitado	Lodo reciclado por processo de tanque de sedimentação. Excesso de lodo é descartado em leios de secagem
Nitrificação	Não	Não tipicamente	Provável, principalmente em climas quentes.

Fonte: Adaptada de Metcalf e Eddy (2003).

Nas lagoas aeróbias com fluxo contínuo e mistura parcial, a energia é suficiente para manter as concentrações de oxigênio dissolvido requeridas, porém não para manter todos os sólidos em suspensão. Os sólidos afluentes são removidos principalmente por sedimentação em compartimento externo. Os sólidos que compõem o efluente deste tipo de lagoa são compostos de porção dos sólidos afluentes, sólidos biológicos produzidos da conversão de compostos orgânicos e ocasionalmente de pequena quantidade de algas. Este efluente possui o mínimo padrão para tratamento secundário, sendo necessário sedimentação de sólidos suspensos.

A lagoa facultativa aerada difere da convencional quanto à forma de suprimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa convencional, o oxigênio é advindo da fotossíntese,

no caso da aerada, o oxigênio dissolvido é obtido principalmente através de aeradores (VON SPERLING, 1996b). Assim, esta última independe, em partes, das condições ambientais como, por exemplo, intensidade luminosa, para o suprimento de parte do oxigênio.

Outra importante diferença entre as lagoas facultativas convencionais e aeradas mecanicamente refere-se à qualidade do efluente. O efluente das lagoas facultativas aeradas não é composto predominantemente por algas, como as facultativas convencionais. A matéria orgânica em suspensão é representada principalmente por bactérias, as quais também exercem demanda de oxigênio no corpo receptor (VON SPERLING, op cit.).

Tal fato ocorre devido à menor quantidade de área superficial e à maior profundidade das lagoas aeradas, que torna o ambiente não propício ao crescimento das algas. Na lagoa facultativa, projeta-se área superficial suficiente ao crescimento destas, para que haja a fotossíntese e conseqüentemente presença de oxigênio dissolvido na coluna de água, enquanto que nas lagoas aeradas não há essa necessidade, já que o oxigênio dissolvido é advindo dos aeradores.

Entre as vantagens das lagoas aeradas mecanicamente, destaca-se a menor área, quando comparadas às lagoas convencionais, maiores profundidades e menores tempos de detenção (MENDONÇA, 1990b). Porém é necessária a utilização de energia para a movimentação dos aeradores, o que as torna mais custosas.

Picot et al. (2005) estudaram lagoa de estabilização anteriormente anaeróbia, que passou a ser aerada, atuando como primeira lagoa de um sistema de lagoas, com 3,1 m de profundidade, localizada na França onde a média anual de temperatura foi aproximadamente 17,8 °C (mínima 5,8 °C, máxima 28,8 °C). A carga volumétrica recebida pela lagoa era de 105 gBOD₅.m⁻³.d⁻¹ e o tempo de detenção, 3,5 dias. A aeração diminuiu a remoção de sólidos suspensos principalmente no verão (média de 39% de remoção; 17% no verão), mas

aumentou a remoção de DBO (47%). A remoção de nutrientes foi baixa (16% de nitrogênio e 12% de fósforo).

A **lagoa com chicanas** consiste em lagoa com subdivisões formando zig-zag, curvas em U, que resultam em percurso predominantemente longitudinal. O funcionamento dessa lagoa equivale a um número finito de células em série (VON SPERLING, 1996b).

As chicanas são comumente utilizadas para melhorar a hidráulica e a eficiência de tratamento das lagoas (SHILTON; HARRISON, 2003). A principal diferença entre as lagoas convencionais e as lagoas com chicanas é o tipo de regime hidráulico. Segundo von Sperling (1996b), o regime hidráulico das lagoas convencionais normalmente é classificado como fluxo disperso. Mas as lagoas com chicanas têm L/B elevado, onde L é o comprimento e B a largura o que torna o fluxo de águas tendendo ao escoamento pistonado.

Na entrada da lagoa com chicanas pode ocorrer elevada demanda de oxigênio, devido a não diluição do afluente bruto no corpo de água ocasionada pelo predominante fluxo em pistão, podendo ocorrer, neste local, condições anaeróbias. Entretanto, no final da lagoa podem ocorrer condições aeróbias e, por isso, o fluxo pistonado é mais utilizado para o polimento do efluente (VON SPERLING, op cit.).

Medri e Medri (2002) coletaram amostras para análises ao longo da lagoa facultativa com chicanas em tamanho real e observaram a distribuição espacial de concentração de matéria orgânica. Os autores verificaram que havia alta concentração de matéria orgânica próxima à entrada, o que é característica de regime de fluxo pistonado, já que não houve diluição deste composto em toda a lagoa (que ocorre em mistura completa).

Chicanas foi um dos fatores enumerados por Moreno (1990) e Kilani e Ogunrombi (1984) para melhorar a eficiência nas lagoas de estabilização. Entretanto, alertaram para o considerável aumento de custo de construção.

3.3. Estratificação térmica e eficiência de remoção

A estratificação térmica é caracterizada pelo gradiente vertical de temperatura, geralmente observado em lagos profundos. Porém, embora as lagoas de estabilização tenham pequenas profundidades, sua alta turbidez proporciona condições favoráveis para a ocorrência deste fenômeno, principalmente durante o verão. Nas lagoas de estabilização, a principal causa para a ocorrência de estratificação térmica é o aquecimento da camada superficial devido à incidência de radiação solar, enquanto que a desestratificação tem sido atribuída principalmente ao resfriamento desta camada (KELLNER; PIRES, 2002).

A temperatura da água na lagoa é um parâmetro que é afetado pela temperatura do ar, mistura ocasionada por tempestade de chuva e área de água que recebe o fluxo, radiação solar e vento (GERMAN, et al., 2003).

Para identificar a presença de estratificação térmica em lagoas de estabilização localizadas em região tropical, Kellner e Pires (2002) provou ser satisfatório utilizar como gradiente limite o valor $0,6\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$.

Com relação à eficiência das lagoas em relação à estratificação térmica, Person³ et al. (1988 apud MENESES et al., 2005) fizeram a distinção entre mistura suave da coluna de água, que otimiza o contato da luz para a população algal e eventualmente distribui oxigênio e nutrientes através da zona aeróbia otimizando as condições para a degradação aeróbia; e a mistura forte, que destrói a estratificação microbiológica e físico-química profunda na lagoa, onde condições anóxicas, anaeróbias e eletronegativas são fundamentais para os microrganismos envolvidos em processos anóxicos e anaeróbios importantes para o tratamento como um todo.

---

³ PERSON, H.W; MARA, D.D.; MILLS, S.W. Rationalizing waste stabilization pond design: The biological

O estudo feito por Giraldo e Garzón (2002) acrescenta sobre a importância de haver vários processos nas lagoas facultativas. O autor concluiu que a degradação anaeróbia, por metanogênese, no fundo das lagoas facultativas pode aumentar a eficiência de remoção de DBO.

Outra hipótese com relação à influência da estratificação térmica sobre a eficiência de remoção de matéria orgânica em lagoas de estabilização é com relação à duração de cada evento de estratificação. Sweeney (2005) explicou que é provável que exista uma mínima duração de evento de estratificação, durante o tempo de detenção, abaixo da qual o impacto da estratificação no comportamento hidráulico seja desprezível, ou seja, é provável que haja duração de estratificação térmica pequena em relação ao tempo de detenção hidráulico que a torne desprezível.

Mistura duradoura também não resulta em boa eficiência de remoção. Saraiva et al. (2005) estudou lagoa facultativa, em região tropical, sob ação de ventos que resultaram mistura na coluna de água - ventos com velocidades entre 1 e 4 m.s⁻¹ e direção da saída para a entrada. A mistura foi confirmada pela homogeneidade das concentrações de clorofila a e de oxigênio dissolvido na coluna de água. O funcionamento dessa lagoa foi caracterizado como sub-ótimo, pois a remoção de sólidos foi apenas de 37,5%. A sugestão foi a construção de lagoas menores em paralelo para reduzir o impacto do vento na eficiência de tratamento.

Meneses et al. (2005) também estudaram lagoas de estabilização sob altas velocidades do vento (1 a 4 m.s⁻¹). Seu estudo concentrou-se no impacto do vento na eficiência de remoção de DBO, em lagoa facultativa, localizada em Natal – RN, no Brasil. Os autores observaram homogeneidade na coluna de água de clorofila a, isoterma e homogeneidade de oxigênio dissolvido e DBO. Quanto ao funcionamento, a remoção de DBO foi de apenas 50,3%, sendo que a lagoa havia sido projetada para remover 79%. Além disso, houve

aumento das concentrações de clorofila, em relação às concentrações na lagoa facultativa estratificada, recebendo carga similar. A conclusão deste trabalho foi a possibilidade de que a redução de eficiência tenha sido ocasionada pela mistura e então redução da atividade microbiana necessária para o consumo de matéria orgânica. A sugestão dos autores também foi a utilização de lagoas menores, onde a ação do vento é reduzida e, assim, permita a estratificação biológica com conseqüente aumento da atividade biológica. Outra sugestão foi observar se a introdução de condições de estratificação através da inserção de barreiras de vento e chicanas melhoraria a eficiência.

Sweeney (2005) analisou a variação espacial de temperatura em lagoa facultativa (1,4 m de profundidade) localizada no sul da Austrália. O autor observou diferença mínima de 0,2 °C entre os pontos e diferença média de 1,7 °C. O autor delimitou áreas com relação à prevalência da estratificação térmica, ou seja, com relação à porcentagem total de tempo que a lagoa esteve estratificada em cada ponto. A menor porcentagem de tempo que a lagoa esteve estratificada foi observada nos pontos A e G, enquanto que o maior tempo, no ponto H e I, representados na Figura 1.

O mesmo autor estudou também a persistência da estratificação térmica em cada ponto, ou seja, quanto tempo durou a estratificação sem que houvesse desestratificação. A duração da estratificação térmica foi em média 2,8 horas. Houve diferença da persistência em cada ponto, de forma que a maior persistência foi observada nos pontos A e G, sendo que 30 % do tempo de estratificação esteve associado a eventos maiores que 50 horas, diferentemente dos outros pontos, onde foram menores (Figura 2).

Figura 1 - Porcentagem de tempo total de estratificação térmica – prevalência - na lagoa de estabilização facultativa, em Bolivar (Austrália). Fonte: Sweeney (2005).

Figura 2 - Fração de tempo total de estratificação térmica em função da duração de cada evento (persistência), para cada ponto, na lagoa de estabilização facultativa, em Bolivar (Austrália). Fonte: Sweeney (2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Características das áreas de estudo

Dois sistemas de lagoas de estabilização foram objetos de estudo desta pesquisa: um situado na cidade Jacupiranga e outro na cidade Pariquera-Açu (Figura 3), ambos em região subtropical, no Estado de São Paulo.

Figura 3 - Localização das cidades de Jacupiranga (a) e Pariquera-Açu (b), no Estado de São Paulo.

O município de Jacupiranga tem sua sede localizada nas coordenadas 24°41'23''S e 48°00'09''W e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (2006), ocupa área de aproximadamente 708 km² com população absoluta de 18.676 habitantes.

O município de Pariquera-Açu, com área de 360 km², tem sua sede localizada nas coordenadas 24°43'14''S e 47°52'43''W e, segundo dados do IBGE (2006), a população local corresponde a 20.459 habitantes.

Os conjuntos de lagoas fazem parte de duas sub-bacias do Baixo Ribeira do Iguape: a do rio Jacupiranga e a do rio Pariquera-Açu. As Estações de Tratamento de Esgoto - ETE de Jacupiranga e ETE de Pariquera-Açu - recebem água residuária de origem predominantemente doméstica, ou seja, sua composição compreende água (99,9%), matéria orgânica e inorgânica e microrganismos. Além disso, o sistema de Pariquera-Açu recebe lodo de decantadores e de filtros de Estações de Tratamento de Água (ETA).

- **ETE da cidade de Jacupiranga**

O sistema de lagoas de estabilização da cidade de Jacupiranga, inicialmente, era constituído por uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa; entrou em funcionamento em 1998. Devido à geração de odores na lagoa anaeróbia e a sobrecarga orgânica, quatro aeradores de 30 CV de potência cada um foram colocados em 09/08/04, para que a lagoa se comportasse como aerada facultativa e, conseqüentemente, diminuísse a geração de odores.

Atualmente, este sistema é constituído de grades, caixa de areia e calha Parshall como tratamento preliminar, lagoa aerada seguida de lagoa facultativa convencional e de tanque de cloração (Figura 4). As principais dimensões desta ETE constam na Tabela 12.

Figura 4 - Sistema de lagoas de estabilização da cidade de Jacupiranga - SP: (M2) lagoa aerada, (LF) lagoa facultativa convencional e (STC) saída tanque de cloração. As setas indicam os aeradores.

Tabela 13 - Dimensões das lagoas que compõem o sistema da cidade de Jacupiranga.

	Aerada	Facultativa
Profundidade (m)	4,0	1,5
Largura média (m)	40	67
Comprimento médio (m)	40	142
Área superficial (m ²)	2830	10431
Volume (m ³)	6080	12368

Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2006).

O sistema recebe afluente por elevatória e não há controle de volume e de quantas vezes há bombeamento por dia.

O corpo receptor do efluente dessas lagoas é o rio Jacupiranga, classificado como classe 2, segundo Decreto Estadual 10755 (SÃO PAULO, 1977). A vazão de final de plano, ou seja, máxima que pode ser tratada por esse sistema é de $33,52 \text{ L.s}^{-1}$ ($2896 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$)

(SABESP, 2006), ou seja, os menores tempos de detenção hidráulico que o sistema suporta são 9 dias (3 dias, na lagoa aerada e 6 dias, na facultativa).

Este sistema apresenta alguns problemas operacionais: (a) esporadicamente ocorre roubo de cabos elétricos e os aeradores, localizados na primeira lagoa, ficam parados, em fase de reconstrução do sistema elétrico - o funcionamento dos aeradores durante as quatro coletas está representado na Figura 5; (b) interrupção definitiva da etapa de cloração, já que partes do sistema foram roubadas - assim, em nenhuma das coletas o tanque de cloração estava sendo utilizado para este objetivo.

O sistema de lagoas de Jacupiranga foi implantado em região com ventos predominantes em direção sul-norte (S-N), conforme a Figura 6.

Figura 5 - Representação dos aeradores em funcionamento nas seguintes coletas de campo: (a) setembro/05, (b) janeiro/06, (c) abril/06 e (d) julho/06.

Figura 6 - Implantação da ETE de Jacupiranga, em relação à direção cardinal.

- **ETE da cidade de Pariquera-Açu**

O sistema de lagoas de estabilização da cidade de Pariquera-Açu também entrou em operação em 1998 e é composto atualmente por grades, caixa de areia e calha Parshall, como tratamento preliminar. Após este tratamento, há duas lagoas anaeróbias em paralelo seguidas de duas facultativas com chicanas, também em paralelo (Figura 7). As principais dimensões das lagoas de estabilização desse sistema constam na Tabela 13.

Figura 7 - Sistema de lagoas de estabilização da cidade de Pariquera-Açu - SP: (A1) e (A2) lagoas anaeróbias em paralelo, e (F1) e (F2) lagoas facultativas com chicanas em paralelo.

Tabela 14 - Dimensões das lagoas que compõem o sistema da cidade de Pariquera-Açu.

	anaeróbias	facultativas
Profundidade (m)	3	2,25
Largura média (m)	38	76
Comprimento médio (m)	68	106
Área superficial (m ²)	3420	8857
Volume (m ³)	7752	16112

Fonte: SABESP (2006)

Além de esgoto doméstico, desde 15/09/2003, lodo de decantadores e filtros da ETA são lançados no sistema. O afluente é recebido por elevatória e, nesse sistema, também não há controle de volume e de quantas vezes há bombeamento por dia.

O corpo receptor do efluente dessas lagoas é o rio Pariquera-Açu, classificado como Classe 2, segundo Decreto Estadual 10755 (SÃO PAULO, 1977). A vazão de final de plano, ou seja, máxima que pode ser tratada por esse sistema é de $23,76 \text{ L.s}^{-1}$ ($2053 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$) (SABESP, 2006), ou seja, os menores tempos de detenção hidráulicos que o sistema suporta são 16 dias (5 dias, nas lagoas anaeróbias e 11 dias, nas facultativas).

O sistema de lagoas de Pariquera-Açu foi implantado em região com ventos predominantes em direção sul-norte (S-N), conforme a Figura 8. Com relação ao espaçamento das chicanas, nas lagoas facultativas, foram maiores na entrada e menores na saída, conforme a Figura 9.

Figura 8 - Implantação da ETE de Pariquera-Açu, em relação à direção cardinal.

Figura 9 - Distribuição das chicanas nas lagoas facultativas.

4.2. Variáveis climatológicas e operacionais

Os dados climatológicos obtidos no local de coleta foram – temperatura do ar (com auxílio de termômetro), direção do vento (biruta), intensidade do vento (anemômetro) e radiação solar incidente (radiômetro: “Quanta-Meter” Ly-Cor, entre 400-700 nm de sensibilidade). O anemômetro foi instalado entre 1,5 m e 2 m do chão. Os dados de precipitação foram obtidos do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO, 2006). A intensidade de vento não foi obtida em setembro/05, e a temperatura do ar e a radiação solar incidente foram obtidas apenas em abril/06 e julho/06.

A vazão nos dois sistemas foi mensurada a partir da altura da lâmina de água no vertedor localizado na saída das últimas lagoas de cada sistema: lagoas facultativas com chicanas 1 e 2 (ETE de Pariquera-Açu) e tanque de cloração (ETE de Jacupiranga). Estes pontos foram escolhidos, pois a vazão na entrada varia com o tempo e na saída, é constante, ou seja, a vazão na saída pode ser considerada a média da vazão que entrou no sistema, em um determinado período.

A altura das lâminas de água foram medidas em janeiro/06, abril/06 e julho/06. A princípio pretendia-se medi-las nos três dias de coleta consecutivos, porém as alturas de lâminas foram iguais nos três dias. Dessa forma, considerou-se a mensuração das lâminas em apenas um dia, para cada época do ano.

A partir das alturas de lâmina de água, a vazão foi obtida pela Equação 3, que relaciona altura de lâmina de água e vazão no vertedor.

$$Q = 1,83 \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Sendo que:

Q = vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

L = largura do vertedor (m) = 0,5 m (nos dois sistemas);

H = altura da lâmina (m).

O tempo de detenção hidráulico teórico foi calculado através da Equação 4, a partir do volume de água nas lagoas facultativas, calculados através dos resultados da batimetria, e das vazões calculadas pelos procedimentos descritos anteriormente.

$$\theta_t = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

Sendo que:

θ_t = tempo de detenção (s)

Q = vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

V = volume de água (m^3);

A distribuição e volume de lodo e o volume de água, nas lagoas facultativas convencional (ETE de Jacupiranga) e com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu), foram determinados a partir da batimetria, ou seja, mensuração da espessura de lodo e da altura da lâmina de água, em julho/06. Para tanto, a lagoa foi mapeada em malha de 5 m por 5 m.

Para traçar as curvas das faixas de lâmina de água e das espessuras de lodo, foi utilizado o programa Surfer 6.0 (1997). Para o cálculo do volume de água nas lagoas, primeiramente calculou-se as alturas médias de água. Para tanto, distribuiu-se as lâminas em faixas de profundidade e calculou-se a média de lâmina de água para estas faixas. A área total para cada faixa foi obtida com auxílio do programa AutoCAD 2000 (1999). O volume total foi obtido a partir da multiplicação entre a altura de água média e a área total, para cada faixa de lâmina de água.

Para o cálculo de lodo nas lagoas, primeiramente obteve-se as áreas correspondentes a cada espessura de lodo com auxílio do programa AutoCAD 2000 (1999). Posteriormente, calcularam-se os volumes ocupados para cada espessura de lodo, através da multiplicação entre a espessura de lodo e a área ocupada.

4.3. Pontos de amostragem e variáveis físicas e químicas

As amostragens foram realizadas no afluente e efluente de cada lagoa, nos dois sistemas. Além disso, alguns pontos dentro das lagoas foram escolhidos para se analisar os perfis de variáveis de monitoramento, definidas como temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH.

As mensurações *in situ* destas variáveis de monitoramento foram feitas a cada 10 cm da coluna de água até 1,0 m; e a cada 50 cm a partir desta profundidade. Também foram coletadas amostras em um único ponto na entrada dos sistemas (tratamento preliminar – Ponto 1) e nas saídas de cada lagoa para caracterização destes pontos e avaliação do desempenho (Pontos 2 a 4). A caracterização, nos pontos 1 a 4, foi feita através da determinação de variáveis físicas, químicas e biológicas que estão descritas a seguir.

Nas Figuras 10 e 11 estão representados os esquemas de amostragem para as lagoas de estabilização localizadas em Jacupiranga e Pariquera-Açu, respectivamente.

Uma observação importante refere-se ao ponto de coleta do efluente dentro da lagoa aerada (ponto 2), na ETE de Jacupiranga, para representação de sua eficiência (Figura 10). Este ponto foi escolhido devido à impossibilidade de coleta à saída da lagoa. Devido à consideração de que a lagoa aerada trabalha sob mistura completa, considerou-se razoável a coleta no meio da lagoa (à superfície), para representação do seu desempenho. Porém em setembro/05, quando foi realizada a primeira coleta, a amostragem foi realizada no início da lagoa facultativa, à superfície, já que a hipótese anterior ainda não havia sido pensada.

Quanto à variação temporal, este trabalho aborda duas escalas, a diária e a sazonal. A sazonal foi representada por coletas em setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06; enquanto que a diária, por coletas em três dias consecutivos, em cada sistema. As coletas nas lagoas de

Pariquera-Açu foram realizadas sempre na parte da manhã, enquanto que as de Jacupiranga, a tarde.

Figura 10 - Pontos amostrados nas lagoas de estabilização de Jacupiranga: (●) mensuração *in situ* de variáveis de monitoramento, a cada 10 cm, na coluna de água; (■) mensuração *in situ* de variáveis de monitoramento, na superfície; (1); (2); (3) e (4) caracterização de variáveis físicas, químicas e biológicas.

Figura 11 - Pontos amostrados nas lagoas de estabilização de Pariquera-Açu: (●) mensuração *in situ* de variáveis de monitoramento, a cada 10 cm, na coluna de água; (■) mensuração *in situ* de variáveis de monitoramento, na superfície; (1); (2); (3) e (4) caracterização de variáveis físicas, químicas e biológica.

Em julho/06, medidas de temperatura *in situ* foram realizadas em vários pontos na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu) e na convencional (ETE de Jacupiranga), a fim de observar a variação espacial de temperatura de forma mais abrangente.

Juntamente com os perfis das variáveis de monitoramento, obteve-se a transparência da coluna de água (m) através do desaparecimento do disco de Secchi, na lagoa aerada e na facultativa. A transformação da profundidade obtida com o Secchi para profundidade da zona eufótica (m) foi realizada multiplicando-se a profundidade do desaparecimento do disco de Secchi por 2,7 (COLE, 1983).

As variáveis de 1 a 5 (Tabela 14) foram mensuradas *in situ* com auxílio da multi-sonda (Yellow Springer, Modelo 556 MPS). Em laboratório de campo, foi determinada a variável 6, e no laboratório Biotace, na Escola de Engenharia de São Carlos, as variáveis de 7 a 15 foram determinadas (Tabela 14) de acordo com metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19^o ed (APHA, 1995).

Em setembro/05, houve problema com o eletrodo que mede pH e por isso não há dados. Em abril/06, o sistema de lagoas de Pariquera-Açu não estava recebendo esgoto no primeiro dia, no segundo esteve funcionando parcialmente, já que apenas houve água residuária na entrada do sistema e na saída da lagoa anaeróbia, ou seja, não havia efluente na saída das facultativas, e no terceiro o sistema esteve funcionando inteiramente. A DBO foi analisada, porém as concentrações de oxigênio dissolvido aumentaram em 5 dias, para esta qualidade de água residuária, e por isso não há dados desta variável.

Tabela 15 - Sumário dos métodos de determinação das variáveis físicas, químicas e biológica.

	Variáveis	Unidade	Método	Referência Bibliográfica
1	Condutividade Elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Potenciométrico	
2	Oxigênio Dissolvido	mg.L^{-1}	Potenciométrico	
3	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Potenciométrico	
5	pH		Potenciométrico	
6	Alcalinidade	mg.L^{-1}	Titulação potenciométrica	APHA (1995)
7	Sólidos em suspensão	mg.L^{-1}	Gravimétrico	APHA (1995)
8	Nitrogênio amoniacal	mg.L^{-1}	Titulométrico	APHA (1995)
9	Nitrito	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico	APHA (1995)
10	Nitrato	mg.L^{-1}	Espectrofotométrico	APHA (1995)
11	Nitrogênio total Kjeldahl	mg.L^{-1}	Titulométrico	APHA (1995)
12	Fósforo total	mg.L^{-1}	Espectrofotométrico	APHA (1995)
13	Formas de Carbono (CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-})	mg.L^{-1}	Cálculo	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
14	Clorofila (a)	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotométrico	APHA (1995)
15	Demanda Química de Oxigênio	$\text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$	Espectrofotométrico	APHA (1995)

4.4. Horários e sequência de amostragem

- **ETE de Pariquera-Açu**

A determinação dos perfis foi realizada conforme a sequência representada pela flecha vermelha na Figura 12, e nos horários que constam nas Tabelas 15, 16 e 17.

De acordo com os dados que estão nas Tabelas 15 a 17, pode-se observar que houve exceção no ordenamento no segundo dia de janeiro/06. As determinações foram realizadas na ordem inversa: lagoa facultativa com chicanas 2, lagoa facultativa com chicanas 1, lagoa anaeróbia 2 e lagoa anaeróbia 1. Isso ocorreu, pois esse trabalho faz parte de um projeto

temático e naquele dia precisamos adaptar coleta de água e dados de outro trabalho juntamente com a deste.

Figura 12 - Sequência de coleta, na ETE de Pariquera-Açu.

Tabela 16 - Horários de determinação dos perfis no meio e na saída das lagoas anaeróbias 1 e 2, no sistema de Pariquera-Açu.

		meio			saída		
		1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia
Lagoa anaeróbia 1	Setembro/05	9:20	8:26	7:47	9:35	8:37	8:05
	Janeiro/06	8:00	10:00	7:30	8:27	9:48	7:55
	Abril/06	9:30	7:40	7:40	10:05	8:10	8:10
	Julho/06	8:45	8:00	7:53	9:00	8:10	8:03
Lagoa anaeróbia 2	Setembro/05	10:05	9:06	9:00	9:50	8:55	8:40
	Janeiro/06	9:00	9:30	8:25	8:45	9:38	8:20
	Abril/06	10:40	8:40	8:40	10:20	8:25	8:20
	Julho/06	9:25	8:40	8:34	9:10	8:30	8:20

Tabela 17 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa com chicanas 1, no sistema de Pariquera-Açu.

	Entrada			meio			saída		
	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia
Setembro/05	10:35	9:30	-	10:50	9:42	9:23	11:05	9:56	9:45
Janeiro/06	9:05	9:09	8:40	9:20	9:15	8:55	9:30	8:55	9:05
Abril/06	10:50	8:50	9:00	11:10	9:10	9:15	11:30	9:25	9:30
Julho/06	9:41	9:00	8:57	9:55	9:10	9:15	10:06	9:25	9:35

(-) não mensurado.

Tabela 18 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa com chicanas 2, no sistema de Pariquera-Açu.

	Entrada			meio			saída		
	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia
Setembro/05	12:00	10:52	-	11:35	10:37	10:34	11:20	10:26	10:13
Janeiro/06	10:04	8:13	10:00	9:55	8:28	9:40	9:45	8:39	9:30
Abril/06	11:50	10:40	10:15	12:00	10:25	10:05	12:15	10:00	9:50
Julho/06	11:49	10:20	10:35	11:12	10:00	10:23	10:31	9:45	10:02

(-) não mensurado

- **ETE de Jacupiranga**

A determinação dos perfis foi realizada conforme a seqüência representada pela seta na Figura 13, e nos horários que constam nas Tabelas 18 e 19.

Figura 13 - Sequência de coleta, na ETE de Jacupiranga.

Tabela 19 - Horários de determinação dos perfis no meio da lagoa aerada, no sistema de Jacupiranga.

	meio		
	1º dia	2º dia	3º dia
Setembro/05	15:15	15:09	15:10
Janeiro/06	16:30	16:00	16:40
Abril/06	16:40	16:50	16:20
Julho/06	17:10	-	16:10

(-) não mensurado.

Tabela 20 - Horários de determinação dos perfis na entrada, meio e saída da lagoa facultativa convencional, no sistema de Jacupiranga.

	Entrada			meio			Saída		
	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia
Setembro/05	14:50	14:52	-	14:35	14:33	14:38	14:25	14:08	14:19
Janeiro/06	16:15	15:42	16:30	16:00	15:35	16:20	15:43	15:20	16:00
Abril/06	16:30	16:35	16:10	16:15	16:10	15:55	16:00	16:00	15:35
Julho/06	16:46	16:20	15:45	16:17	16:00	15:25	15:30	16:36	15:00

(-) não mensurado.

4.5. Análise estatística

Para a análise dos resultados foi utilizada a ferramenta estatística análise do componente principal (PCA – Principal Component Analyse). Esta ferramenta foi escolhida a fim de verificar a existência de relação entre variáveis. Os perfis de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram relacionados e estes com a qualidade do efluente das lagoas. Para aplicar a PCA, foi feito um teste preliminar de significância, a análise de variância (ANOVA – Analyses of Variance), para verificar se houve diferença entre as escalas de amostragem adotada. O programa utilizado para os testes de significância e para o PCA foi o programa Systat 9.0 (1999). Na Figura 14, pode-se observar a seqüência de ferramentas estatísticas utilizadas.

Figura 14 - Seqüência de análises estatísticas.

Nos testes de significância, através da ANOVA, a variação temporal, tanto diária quanto sazonal, e a variação espacial, tanto as diferentes lagoas de um mesmo sistema, quanto as diferentes profundidades na coluna de água, foram verificadas. Quando o valor de *Wilks' Lambda* (variável estatística que representa a variação na amostragem) foi menor que 0,05, a variável testada (coleta, local, dia ou profundidade) foi considerada significativa. Quando houve significância para uma variável testada, os testes para a próxima variável foram feitos, separadamente, quanto a esta variável, já que a significância indica que poderiam existir diferentes agrupamentos para tal, conforme a Figura 15.

A avaliação para perfis e qualidade do efluente, com relação a nutrientes e matéria orgânica, ocorreu a partir de duas das quatro variáveis descritas anteriormente (local e coleta), devido ao número de dados. A variação para a relação entre os perfis foi realizada a partir de local, coleta e profundidade.

As variáveis físicas e químicas utilizadas nos testes de significância e PCA, para as análises de relação entre qualidade do efluente e perfis, foram as seguintes:

- Concentrações de nitrito, nitrato, fosfato inorgânico, fosfato total, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos inorgânicos, sólidos suspensos orgânicos, dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico, alcalinidade, demanda química de oxigênio, na saída das lagoas;
- Temperatura média: média da temperatura na coluna de água;
- Termoclina média: média da maior variação de temperatura em 1 m;
- Condutividade média: média da condutividade na coluna de água;
- Variação de condutividade: média da subtração entre o maior e o menor valor de condutividade na coluna de água;
- Variação entre a temperatura na superfície e no fundo (VTSF): média da

subtração entre a temperatura na superfície e no fundo;

- Maiores concentrações de oxigênio dissolvido (OD): média das maiores concentrações de oxigênio dissolvido na coluna de água.

Figura 15 - Seqüência para os testes de significância, realizado no ANOVA, para os dois sistemas, separadamente.

Para estes cálculos, nas lagoas facultativas, as médias foram calculadas para os três pontos, de cada lagoa, sendo que, primeiramente foi calculada a média na coluna de água para cada um dos três pontos e depois a média dos três resultados. Para as lagoas anaeróbias, devido a não existência de um ponto que caracterizasse o seu efluente final, esta análise foi

realizada a partir da média entre os quatro pontos de amostragem (dois pontos em cada lagoa), sendo que, primeiramente foi calculada a média na coluna de água para cada um dos quatro pontos e depois a média dos quatro resultados.

Nesta avaliação, a estratificação, térmica e química, foi relacionada com a qualidade do efluente através dos dados da termoclina média e variação da condutividade elétrica, na coluna de água, pois expressam variação na coluna de água. Partindo do princípio de que as concentrações de oxigênio dissolvido, em geral, tornam-se próximas de 0 mg.L^{-1} ao se aproximarem do fundo das lagoas, pode-se dizer que a variável OD expressa estratificação química de oxigênio dissolvido, exceto para a lagoa aerada, onde a distribuição desta variável foi homogênea.

As variáveis utilizadas nos testes de significância e na PCA, para as análises de relação entre os perfis, foram as seguintes: oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade elétrica.

Após rodar a PCA, foram obtidas colunas de valores denominadas fatores, os quais foram considerados significativos quando maiores que 0,7. As variáveis em que valores maiores que 0,7 foram observados na primeira coluna formaram um conjunto de variáveis significativas que compuseram o fator 1. E assim sucessivamente, para os fatores 2 e 3. Em cada fator foram separadas variáveis com relações entre si.

Com auxílio da PCA, também se pretendeu definir agrupamentos cujas características dos perfis e da qualidade do efluente, que foram significativas nos fatores, fossem semelhantes. Para tanto, foram gerados gráficos a partir dos *scores* gerados nas PCA's e a ferramenta utilizada foi o programa Statistica 6.0 (2001). Para o fator 3, apenas suas variáveis significativas foram apresentadas, ou seja, agrupamentos gráficos não foram gerados. Para análise da relação entre os perfis, os gráficos não foram feitos para nenhum fator, devido ao grande número de pontos, que dificultou a análise gráfica.

5. RESULTADOS

5.1. Variáveis climatológicas – precipitação, radiação solar incidente e vento

Nas Figuras 16 e 17 estão representadas as precipitações acumuladas mensalmente no período de agosto/05 a julho/06, nas cidades de Pariquera-Açu e Jacupiranga, respectivamente. As maiores precipitações acumuladas ocorreram em março/06, tanto em Pariquera-Açu (318,2 mm) quanto em Jacupiranga (419,5 mm).

As menores precipitações foram observadas em julho/06, quando choveu 41,4 mm, em Pariquera-Açu e 28,5 mm, em Jacupiranga. Nos meses de setembro/05 e janeiro/06, as precipitações foram semelhantes, sendo que em setembro/05 foi observado 295,2 mm, em Pariquera-Açu e 200,6 mm, em Jacupiranga; e em janeiro/06, a precipitação total foi de 193,4 mm, em Pariquera-Açu e 255,7 mm, em Jacupiranga. Em abril/06, a precipitação acumulada foi 66,5 mm, em Pariquera-Açu e 78,6 mm, em Jacupiranga.

Sazonalidade foi possível identificar dois períodos distintos, quanto ao volume de chuvas acumulado: período chuvoso e de seca. O período chuvoso ocorreu entre setembro/05 e março/06, com exceção para novembro/06, quando a precipitação foi menor que 100 mm; e o período de seca, entre abril/06 e julho/06.

No entanto, ao observar as precipitações apenas nos dias em que aconteceram as coletas (Tabelas 20 e 21) notou-se que, nos dois municípios, os valores acumulados para os meses de setembro/05 e abril/06 não diferiram tanto entre si. Apesar de não ter sido feito estudo sobre a influência direta da chuva nas lagoas, a precipitação total dos três dias de coleta foi maior em janeiro/06 e menor em julho/06, quando não choveu, nos dois municípios.

Figura 16 - Lâmina acumulada, mensalmente, de precipitação (mm), na cidade de Pariquera-Açu. Os meses de coleta estão destacados.

Figura 17 - Lâmina acumulada, mensalmente, de precipitação (mm), na cidade de Jacupiranga. Os meses de coleta estão destacados.

Em Pariquera-Açu (Tabela 20), as maiores precipitações acumuladas nos treze dias antes da coleta ocorreram em setembro/05 (126 mm) e março-abril/06 (210 mm), enquanto que as menores em janeiro/06 (49 mm) e julho/06 (35 mm); as maiores acumuladas nos cinco dias antes da coleta ocorreram em setembro/05 (53 mm), janeiro/06 (51 mm) e março-abril/06 (31 mm), enquanto que a menor em julho/06 (0 mm).

Em Jacupiranga (Tabela 21), as maiores precipitações acumuladas nos treze dias antes da coleta ocorreram em setembro/05 (114 mm), janeiro/06 (106 mm) e março-abril/06 (112 mm), enquanto que a menor em julho/06 (10 mm); nos cinco dias anteriores, a maior acumulada ocorreu em janeiro/06 (106 mm), enquanto que as menores em setembro/05 (48 mm), março-abril/06 (38 mm) e julho/06 (0 mm).

Tabela 21 - Precipitação diária (mm), apenas nos dias que antecederam as coletas, na ETE de Pariquera-Açu.

Set/05	Precipitação (mm)	Jan/06	Precipitação (mm)	Mar- abr/06	Precipitação (mm)	Jul/06	Precipitação (mm)
16	0	12	0	21	2	10	34
17	0	13	0	22	92	11	1
18	3	14	0	23	0	12	0
19	65	15	0	24	21	13	0
20	0	16	0	25	2	14	0
21	1	17	0	26	24	15	0
22	1	18	0	27	36	16	0
23	3	19	0	28	2	17	0
24	0	20	2	29	1	18	0
25	0	21	0	30	28	19	0
26	47	22	24	31	2	20	0
27	5	23	25	1	0	21	0
28	1	24	0	2	0	22	0
29	1	25	0	3	7	23	0
30	0	26	23	4	0	24	0
1	5	27	6	5	0	25	0
Total	132		80		217		35

Os dias das coletas estão hachurados.

Tabela 22 - Precipitação diária (mm), apenas nos dias que antecederam as coletas, na ETE de Jacupiranga.

Set/05	Precipitação (mm)	Jan/06	Precipitação (mm)	Mar- abr/06	Precipitação (mm)	Jul/06	Precipitação (mm)
16	0	12	0	21	0	10	10
17	0	13	0	22	6	11	0
18	30	14	0	23	3	12	0
19	34	15	0	24	0	13	0
20	0	16	0	25	4	14	0
21	2	17	0	26	8	15	0
22	0	18	0	27	47	16	0
23	0	19	0	28	6	17	0
24	1	20	7	29	0	18	0
25	20	21	23	30	25	19	0
26	24	22	14	31	13	20	0
27	0	23	56	1	0	21	0
28	3	24	6	2	0	22	0
29	3	25	5	3	1	23	0
30	0	26	14	4	8	24	0
1	0	27	43	5	0	25	0
Total	117		168		121		10

Os dias das coletas estão hachurados.

As maiores velocidades do vento (Tabela 22), em geral, foram observadas em abril/06, enquanto que as maiores ocorreram em julho/06. Quanto à direção do vento (Tabela 23), houve predomínio de ventos sul – norte (S-N), em janeiro/06 e abril/06, que corresponde a ventos da entrada para a saída, nos dois sistemas. Em julho/06, a direção predominante foi norte – sul (N-S), que corresponde a ventos da saída para a entrada, nos dois sistemas; porém também foram observadas direções, como: nordeste – sudoeste (NE-SW) e sudeste – noroeste (NW). Em setembro/05, não houve predomínio de nenhuma direção, já que foram observadas três direções diferentes nos três dias, tais como: leste – oeste (E-W), oeste – leste (W-E) e S-N.

Nas Tabelas 24 e 25 constam os valores de temperatura do ar e radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) nos três dias, das coletas de abril/06 e julho/06. Em Pariquera-Açu, as coletas começaram por volta de 8:00 h e terminaram aproximadamente 10:00 h. Ressalta-se que a sequência de coletas, em abril/06, é apresentada na Figura 9.

Tabela 23 - Velocidades de vento (m.s^{-1}), nas cidades de Pariquera-Açu e Jacupiranga, no período amostral.

	Pariquera-Açu			Jacupiranga		
	Jan/06	Abr/06	Jul/06	Jan/06	Abr/06	Jul/06
1º dia	0,2	1,2	0,6	0,1	2,5	0,0
2º dia	2,0	1,0	0,3	1,9	5,1	0,5
3º dia	0,6	0,3	1,0	1,7	1,7	0,2

Em setembro/05 os dados não foram obtidos.

Tabela 24 - Direção do vento na, ETE de Pariquera-Açu e de Jacupiranga, durante as coletas.

Data	Direção vento	
	Pariquera-Açu	Jacupiranga
29/set	E-W	E-W
30/set	S-N	-
01/out	-	W-E
25/jan	S-N	S-N
26/jan	S-N	S-N
27/jan	S-N	S-N
03/abr	S-N	S-N
04/abr	S-N	S-N
05/abr	E-W	S-N
23/jul	N-S	N-S
24/jul	NE-SW	-
25/jul	N-S	N-S; SE-NW

(-): direções não obtidas

Tanto a radiação solar fotossinteticamente ativa quanto à temperatura do ar aumentaram com o fotoperíodo. Em Pariquera-Açu (Figura 24), em abril/06, a RFA esteve entre $550 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $2474 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; e a temperatura entre 17°C e 26°C . Em julho/06, a RFA e a temperatura foram menores e estiveram entre $225,3 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $2030 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; 14°C e 22°C , respectivamente.

Tabela 25 - Radiação solar fotossinteticamente ativa ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos três dias consecutivos, em abril/06 e julho/06, em Pariquera-Açu.

	1º dia				2º dia				3º dia			
	RFA		T		RFA		T		RFA		T	
	$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$		$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$		$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$	
	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul
LA1-M	736	1480	22	14	550	908	18	14	1200	225,3	17	16
LA1-S	620	1480	25	16	950	1250	20	15	2000	288,6	22	17
LA2-M	2000	1597	22	18,5	2000	1269	21	16	1800	1145	21	17
LA2-S	2500	1613	22	18	1000	1191	20	16	1700	1162	20	17
LF1-E	2300	1800	22	19	2100	1532	21	16	2000	1290	21	17
LF1-M	2474	1858	24	19	2300	1594	22	18	2000	1661	22	18,5
LF1-S	2300	1860	25	-	2200	1654	22	18,5	2400	651,3	24	19,5
LF2-E	730	2030	26	-	950	1955	24	20,5	2600	1627	26	20
LF2-M	3100	1940	26	-	1050	1726	25,5	21,5	2400	1702	26	20
LF2-S	3000	1663	26	-	2000	1734	26	19	2300	1733	26	20

(-): não houve medição.

Em setembro/05 e janeiro/06 estas variáveis não foram mensuradas.

Tabela 26 - Radiação solar fotossinteticamente ativa ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos três dias consecutivos, em abril/06 e julho/06, em Jacupiranga.

	1º dia				2º dia				3º dia			
	RFA		T		RFA		T		RFA		T	
	$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$		$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$		$(\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$		$(^{\circ}\text{C})$	
	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul	abr	jul
A	600	353,7	-	24	1330	-	22	-	220	937,8	23	-
LF-E	1200	785,5	-	25	1500	1075	22	21,5	250	1358	24	25
LF-M	1400	1026	-	25,5	1700	1262	22	22	230	1465	24	26
LF-S	1500	1255	-	31	1700	1452	22	25	300	1541	24	26

(-): não houve medição.

Em setembro/05 e janeiro/06 estas variáveis não foram mensuradas.

Em Jacupiranga (Tabela 25), as coletas começaram por volta de 15:00 h e terminaram aproximadamente 17:00 h. Tanto a radiação solar fotossinteticamente ativa quanto a temperatura do ar diminuíram com o tempo. Em abril/06, a radiação solar fotossinteticamente ativa esteve entre $220 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $1700 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e a temperatura entre 22°C e 24°C . Em julho/06, a radiação solar variou de $353,7 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a $1541 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; e a de temperatura esteve entre 21°C e 31°C .

5.2. Variáveis operacionais – volume de lodo, altura da lâmina de água, vazão e tempo de detenção hidráulico calculado

A lâmina de água na lagoa facultativa convencional ETE de Jacupiranga variou entre 1,1 m e 1,4 m (Figura 18). Na maior área da lagoa ($5027,7 \text{ m}^2$), a lâmina de água foi de 1,3 m. A maior lâmina de água (1,4 m) foi observada a partir do meio da lagoa, e as menores (1,1 m e 1,2 m), na entrada e nas laterais. Conforme a Tabela 26, o maior volume de água foi ocupado por faixa de lâmina de água igual a 1,3 m (6837 m^3). O volume total de água nessa lagoa foi 11063 m^3 .

A lâmina de água na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu) variou entre 1,45 m e 1,85 m (Figura 19), ou seja, foi maior que na lagoa facultativa convencional. Na maior área da lagoa ($3564,4 \text{ m}^2$), a lâmina de água foi de 1,80 m. As menores lâminas (1,45 a 1,55 m) foram observadas na lateral esquerda da lagoa. Conforme a Tabela 27, o maior volume de água foi ocupado pela faixa de lâmina igual a 1,80 m (6487 m^3). O volume total de água nesta lagoa foi 12549 m^3 , ou seja, também foi maior que na lagoa facultativa convencional.

Figura 18 - Comportamento da lâmina de água (m), na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

Tabela 27 - Altura média de água (m), área (m²) e volume (m³) ocupados por cada faixa de lâmina de água, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

Faixa de lâmina (m)	Altura de água média (m)	Área total (m ²)	Volume de água (m ³)
1,0-1,1	1,03	74,85	77,10
1,1-1,2	1,26	1197,87	1509,32
1,2-1,3	1,36	5027,7	6837,67
1,3-1,4	1,44	1838,28	2638,48
Volume total (m ³)			11062,57

Figura 19 - Comportamento da lâmina de água (m), na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).

As espessuras de lodo, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), estão apresentadas na Figura 20. Maiores espessuras foram observadas na entrada, principalmente à direita, apresentando valores que estiveram entre 0,08 m e 0,20 m. Até a metade da lagoa houve predomínio de espessura de lodo igual a 0,06 m. A partir da metade houve predomínio de espessuras menores, tais como 0,04 m e 0,02 m. Nesta lagoa, a maior área foi ocupada por dimensões iguais a 0,02 m (1504,8 m²), 0,03 m (2729,9 m²) e 0,04 m (2368,5 m²). O volume total ocupado pelo lodo foi de 293,4 m³ (Tabela 28).

Tabela 28 - Altura média de água (m), área (m²) e volume (m³) ocupados por cada faixa de lâmina de água, na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).

Faixa de lâmina (m)	Altura de água média (m)	Área Total (m ²)	Volume de água (m ³)
1,45-1,50	1,45	51,18	74,21
1,50-1,55	1,53	63,27	96,81
1,55-1,60	1,57	92,26	144,84
1,60-1,65	1,62	159,74	258,79
1,65-1,70	1,67	243,11	405,00
1,70-1,75	1,72	445,19	765,73
1,75-1,80	1,77	1312,95	2323,91
1,80-1,85	1,82	3564,44	6487,28
1,85-1,90	1,86	1070,66	1991,43
Volume total (m ³)			12548,99

Figura 20 - Espessura de lodo na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

Tabela 29 - Área (m²) e volume (m³) de lodo, para cada espessura (m), na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

Espessura de lodo (m)	Área total (m ²)	Volume de lodo (m ³)
0,00	28,0	0,0
0,01	39,9	0,4
0,02	1504,8	30,1
0,03	2729,9	81,9
0,04	2368,5	94,7
0,05	830,4	41,5
0,06	271,8	16,3
0,07	103,7	7,3
0,08	142,6	11,4
0,10	32,5	3,2
0,20	32,4	6,5
Volume total (m ³)		293,4

Na lagoa facultativa com chicanas, na entrada à esquerda, houve predomínio de espessuras menores, principalmente 0,02 m, enquanto que na esquerda, de espessuras maiores, principalmente 0,04 m (Figura 21). Nesta lagoa, a maior área também foi ocupada por espessuras de lodo de 0,02 m (2268,9 m²), 0,03 m (2360,2 m²) e 0,04 m (1918,0 m²). O volume total de lodo foi menor que o da lagoa anterior (211,5 m³), assim como a área da lagoa (Tabela 29).

Na lagoa facultativa com chicanas 1, as vazões nas três épocas do ano foram semelhantes (624,7 m³.d⁻¹), conforme a Tabela 30. Na lagoa facultativa com chicanas 2, menores vazões foram observadas em janeiro/06 e abril/06 (407,8 m³.d⁻¹), enquanto que vazão semelhante à da facultativa com chicanas 1 ocorreu em julho/06. Na lagoa convencional, menor vazão ocorreu em julho/06 (222,9 m³.d⁻¹), enquanto que nas outras épocas do ano as vazões foram semelhantes à da facultativa com chicanas 1.

Figura 21 - Espessura de lodo na lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu).

Tabela 30 - Área (m²) e volume (m³) de lodo, para cada espessura (m), na lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu).

Espessura de lodo (m)	Área total (m ²)	Volume de lodo (m ³)
0,00	88,2	0,0
0,02	2268,9	45,4
0,03	2360,2	70,8
0,04	1918,0	76,7
0,05	226,9	11,3
0,06	96,7	5,8
0,08	17,7	1,4
0,10	0,4	0,04
Volume total (m ³)		211,5

Tabela 31 - Alturas de lâminas de água (cm) – H – e vazão (L.s⁻¹) – Q – a saída das lagoas facultativas com chicanas 1 e 2 (LF1 e LF2) e da convencional (LF), em três épocas do ano.

		LF1	LF2	LF
Jan/06	H (cm)	4,00	3,00	4,00
	Q (L.s ⁻¹)	7,23	4,72	7,23
Abr/06	H (cm)	4,00	3,00	4,00
	Q (L.s ⁻¹)	7,23	4,72	7,23
Jul/06	H (cm)	4,00	4,00	2,00
	Q (L.s ⁻¹)	7,23	7,23	2,58

A altura da lâmina de água no vertedor não foi mensurada em setembro/05.

O maior tempo de detenção foi observado em julho/06, na lagoa facultativa convencional (49,7 d), conforme a Tabela 31, enquanto que o menor (17,7 d), nesta mesma lagoa, ocorreu em janeiro/06 e abril/06. Quando comparadas as duas lagoas com chicanas, maiores tempos de detenção foram observados na lagoa 2, em janeiro/06 e abril/06 (30,9 d); na lagoa 1, os tempos de detenção em todas as épocas do ano foram semelhantes (20,1 d).

Tabela 32 - Tempo de detenção (d) - θ_t - nas lagoas facultativas com chicanas 1 e 2 (LF1 e LF2) e na convencional (LF), em três épocas do ano.

		LF1	LF2	LF
	$V (m^3)$	12549	12549	11063
Jan/06	Q (m ³ .d ⁻¹)	624,7	407,8	624,7
	θ_t (d)	20,1	30,9	17,7
Abr/06	Q (m ³ .d ⁻¹)	624,7	407,8	624,7
	θ_t (d)	20,1	30,9	17,7
Jul/06	Q (m ³ .d ⁻¹)	624,7	624,7	222,9
	θ_t (d)	20,1	20,1	49,7

O tempo de detenção não foi mensurado em setembro/05, devido à falta de dados de vazão.

As cargas afluentes em cada lagoa anaeróbia e para a lagoa aerada constam na Tabela 32. Na lagoa aerada, menores cargas foram observadas em julho/06, época em que os aeradores não estavam funcionando, enquanto que nas anaeróbias, em abril/06, época em que o sistema esteve parado por algum tempo, inclusive no primeiro dia de coleta. Em janeiro/06 e abril/06, maiores cargas de demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e sólidos suspensos totais (SST) foram observados na lagoa aerada.

Tabela 33 - Cargas afluentes (kg.dia^{-1}) de fósforo total (PT), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e sólidos suspensos totais (SST), para cada lagoa anaeróbia (ETE de Pariquera-Açu) e lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).

		PT (Kg.d^{-1})	DQO (Kg.d^{-1})	NTK (Kg.d^{-1})	SST (Kg.d^{-1})
Lagoa anaeróbia	Jan/06	1239	73320	13425	87262
	Abr/06	1033	28915	12909	84680
	Jul/06	1063	76881	28127	103758
Lagoa aerada	Jan/06	2125	83757	15001	92507
	Abr/06	2250	42503	14376	90632
	Jul/06	1136	9580	6684	37873

A carga não foi determinada em setembro/05, devido à falta de dados de vazão.

5.3. Variáveis físicas e químicas

- **ETE de Pariquera-Açu: Lagoa Anaeróbia 1**

Os perfis de **temperatura** nos dois pontos amostrados, nas quatro coletas (Figuras 22 e 23), foram semelhantes, na maioria dos dias amostrados, exceto no primeiro dia em abril/06.

Em setembro/05, as temperaturas estiveram entre 20,2 e 22,7 °C. Em janeiro/06 e em abril/06, foram maiores e estiveram entre 24,8 e 28 °C, e 24,4 e 27,1 °C, respectivamente. Em julho/06, as temperaturas foram menores e estiveram entre 20,4 e 21,6 °C.

Em setembro/05, nos três dias amostrados, variações de temperatura maiores que 0,6 °C foram observadas até no máximo 1,5 m e a partir de então a temperatura permaneceu homogênea, aproximadamente 20 °C, em ambos os pontos. A maior variação de temperatura no primeiro dia ocorreu entre 0,0 m (21,8 °C) e 1,0 m (20,9 °C), no meio ($\Delta = 0,9$ °C), e entre 0,0 m (21,9 °C) e 1,0 m (21,1 °C), na saída ($\Delta = 0,8$ °C). Nos outros dois dias, a maior variação de temperatura ocorreu abaixo de 0,9 m e foi ligeiramente maior. No segundo dia, atingiu valor de 1,0 °C entre 1,0 m (21,5 °C) e 1,5 m (20,5 °C), nos dois pontos. No terceiro dia, a maior variação de temperatura no meio da lagoa foi de 1,2 °C, e ocorreu entre 0,9 m (21,8 °C) e 1,5 m (20,6 °C); na saída foi de 1,1 °C, entre 0,9 m (21,8 °C) e 1,5 m (20,7 °C).

Diferentemente da coleta anterior, em janeiro/06, variações de temperatura maiores que 0,6 °C ocorreram no fundo da lagoa, enquanto que nas camadas superficiais houve homogeneidade térmica. As maiores variações de temperatura nos três dias foram próximas, sendo que no primeiro dia foram: $\Delta = 2,0$ °C entre 2,0 m (27 °C) e 3,0 m (25 °C), no meio; e $\Delta = 1,8$ °C entre 2,0 m (27 °C) e 3,0 m (25,2 °C). No segundo dia: $\Delta = 1,7$ °C entre 2,0 m (26,8 °C) e 3,0 m (25,1 °C), no meio; e $\Delta = 2,0$ °C entre 2,0 m (26,8 °C) e 3,0 m (24,8 °C), à saída.

No terceiro dia, as maiores variações de temperatura foram de 2,0 °C entre 2,0 m (26,9 °C) e 3,0 m (24,9 °C), no meio; e 1,7 °C entre 2,0 m (26,8 °C) e 3,0 m (25,1 °C), à saída.

Figura 22 - Perfis de temperatura (°C) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Em abril/06, diferença entre os pontos foi observada no primeiro dia, entre 0,0 m (27,1 °C e 26,5 °C, no meio e na saída, respectivamente) e 0,4 m (26,1 °C e 25,6 °C, no meio e na saída, respectivamente). Neste período também foi o único dia em que a variação de temperatura maior que 0,6 °C foi observada. Estas variações foram obtidas entre 0,0 m (27,1 °C) e 0,5 m (25,6 °C), no meio ($\Delta = 1,5$ °C); e entre 0,0 m (26,5 °C) e 0,5 m (25,5 °C), à saída ($\Delta = 1,0$ °C). Nos demais dias, as variações em 1 m foram menores que 0,6 °C, não configurando termoclina.

Em julho/06, homogeneidade térmica foi observada no primeiro e segundo dias, enquanto que variação ocorreu no terceiro dia. A maior variação de temperatura observada neste dia foi de 0,9 °C, entre 1,0 m (21,5 °C) e 2,0 m (20,6 °C), em ambos os pontos.

Figura 23 - Perfis de temperatura (°C) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Os perfis de **oxigênio dissolvido** nos dois pontos foram semelhantes, nas quatro coletas (Figuras 24 e 25), exceto: até 0,3 m, no segundo dia, em setembro/05 e no terceiro, em abril/06; no terceiro dia, em janeiro/06; no segundo dia, em abril/06; e em abril/06. Nestes

períodos houve diferença nas concentrações desta variável entre diferentes pontos amostrados.

Em setembro/05, os perfis foram homogêneos no primeiro e terceiro dias. Em ambos, as concentrações de oxigênio dissolvido estiveram entre 0,0 mg.L⁻¹ e 0,2 mg.L⁻¹.

No segundo dia, as concentrações desta variável estiveram mais elevadas e atingiram 3,68 mg.L⁻¹ (0,0 m), no meio da lagoa e 5,95 mg.L⁻¹ (0,0 m). A partir de 0,2 m e 0,3 m, no meio e saída, respectivamente, as concentrações de oxigênio dissolvido reduziram para 0,1 mg.L⁻¹. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas apenas até 0,1 m, em ambos os pontos.

Em janeiro/06, houve homogeneidade nos perfis de oxigênio dissolvido, nos dois pontos e nos três dias. No primeiro dia, a concentração esteve abaixo de 0,1 mg.L⁻¹. No segundo dia, as maiores concentrações foram verificadas na superfície, nos dois pontos (0,8 mg.L⁻¹, no meio e 1,0 mg.L⁻¹, na saída). A partir de 0,3 m, nos dois pontos, as concentrações não foram maiores que 0,5 mg.L⁻¹. As maiores concentrações foram verificadas no terceiro dia (2,0 mg.L⁻¹, no meio e 0,8 mg.L⁻¹, na saída).

Abril/06 foi o mês em que foram verificadas as maiores concentrações desta variável bem como a maior variabilidade vertical, principalmente no 1º e no 3º dias, quando houve também diferença entre os dois pontos amostrados nos primeiros 0,4 m da coluna. No primeiro dia, houve distribuição heterogênea de oxigênio dissolvido até 0,4 m entre 4,4 mg.L⁻¹ (0,0 m) e 1,5 mg.L⁻¹ (0,4 m), a partir de 0,4 m decresceu até 1,2 mg.L⁻¹ (2,5 m), na saída. No segundo dia, as concentrações estiveram entre 1,8 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, no meio, e entre 1,3 mg.L⁻¹ e 0,7 mg.L⁻¹, na saída. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até 2,5 m, no meio e apenas a 0,0 m, à saída.

No terceiro dia, as concentrações de oxigênio dissolvido foram heterogêneas até 0,3 m, entre 3,0 mg.L⁻¹ (0,0 m) e 1,0 mg.L⁻¹ (0,3 m), no meio; nesse ponto, concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até 0,4 m. Na saída, estiveram entre 0,7 mg.L⁻¹ e

0,5 mg.L⁻¹.

Por outro lado, julho/05 foi o período de maior homogeneidade vertical desta variável e também quando as menores concentrações foram observadas. A maior concentração foi observada a 0,0m, no meio, no segundo dia (0,5 mg.L⁻¹). Nos outros dias, as concentrações foram menores que 0,3 mg.L⁻¹, em ambos os pontos.

Figura 24 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 25 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

O **pH** esteve entre 6 e 8, em janeiro/06; 7 e 8, em abril/06 (exceto no primeiro dia, no meio, em abril/06, na superfície, quando o valor foi ligeiramente menor que 7); 6 e 7, em julho/06. Os menores valores de pH ocorreram no fundo da lagoa em janeiro/06, enquanto que, no 1º dia, na superfície, em abril/06. Em julho/06, os valores de pH foram homogêneos na coluna de água (Figuras 26 e 27).

Houve variação do pH semelhante à da temperatura, de forma que, em janeiro/06, os maiores gradientes foram observados no fundo da lagoa e nas camadas mais superficiais

predominou a homogeneidade; e em abril/06 e julho/06 houve predomínio da homogeneidade ao longo da coluna de água.

Figura 26 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.

Em janeiro/06, houve diferença entre os pontos a partir de 1,5 m aproximadamente, no primeiro e terceiro dias. No primeiro dia, a 0,0 m, o pH foi maior que nos outros pontos – 7,7, no meio e 7,3, na saída; o pH tornou-se menor que 7,0 entre 2,5 m e 3,0 m, no meio e entre 1,0 m e 1,5 m, na saída; e baixou até 3,0 m para 6,5 no meio e 6,1 na saída. No segundo dia,

os valores foram homogêneos e iguais a 7,3 até 1,5 m, para ambos os pontos, e a partir de então, decresceram até 3,0 m, para 7,0, no meio e 6,8, na saída. No terceiro dia, houve distribuição homogênea e igual a 7,3 até 1,5 m. Houve decréscimo de valores até 3,0 m, para 6,5, no meio e 6,1, à saída; os valores tornaram-se menores que 7,0 entre 1,5 m e 2,0 m.

Em abril/06, a maior variação do pH ocorreu no primeiro dia, assim como o ocorrido para a temperatura e oxigênio dissolvido. Nesse dia, os menores valores foram observados a 0,0 m – 6,8, no meio e 7,3, na saída; aumentaram até 0,7 m (7,6), no meio e até 0,4 m (7,6), na saída; e a partir de então os valores baixaram para 7,4, no meio e 7,5, na saída.

No segundo dia, os valores nos dois pontos apenas divergiram até 0,2 m – a 0,0 m encontraram-se as maiores diferenças, tendo sido 7,6, no meio e 7,4, na saída – e a partir dessa profundidade houve semelhança entre os perfis, no intervalo entre 7,6 e 7,7. No terceiro dia, os perfis foram semelhantes e homogêneos, entre 7,7 e 7,8.

Julho/06 foi o período de maior homogeneidade na coluna de água, assim como para temperatura e oxigênio dissolvido, nos três dias e dois pontos, sendo que valores estiveram entre 6,8 e 6,4. Pôde-se observar que os maiores valores ocorreram na superfície, enquanto que os menores, no fundo.

Figura 27 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

Os perfis de **condutividade elétrica** (Figuras 28 e 29) nos dois pontos amostrados foram semelhantes nos três dias e nas quatro coletas. Maior variabilidade vertical foi observada em janeiro/06. Nas demais coletas, os perfis estiveram homogêneos na coluna de água, ou apresentaram pequena variação no fundo da lagoa, principalmente.

Em abril/06, foram observados os menores valores desta variável, que estiveram entre 200 e 300 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Em setembro/05, a condutividade elétrica esteve entre 400 e 500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Em janeiro/06, assim como para a temperatura, os gradientes de condutividade elétrica ocorreram no fundo da lagoa, enquanto que nas camadas superficiais houve homogeneidade; a faixa de valores foi de 400 a 800 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Os maiores valores foram observados em julho/06, quando variaram entre 500 e 800 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Quanto à variação na coluna de água, em setembro/06, os valores de condutividade elétrica até 2,5 m estiveram entre 426 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 438 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, no primeiro dia; entre 427 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 453 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, no segundo dia; e foram maiores no terceiro dia, variando entre 426 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 462 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. No fundo, a 3,0 m, os valores aumentaram até 475 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em janeiro/06, até 1,5 m, os valores de condutividade elétrica foram semelhantes aos da coleta anterior. No primeiro dia, os valores até 1,5 m estiveram entre 483 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 492 $\mu\text{S.cm}^{-1}$; no segundo entre 436 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 469 $\mu\text{S.cm}^{-1}$; e no terceiro entre 440 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 459 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. No fundo, a partir de 1,5 m, aumentaram até no mínimo 710 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e no máximo 776 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em abril/06, os intervalos da condutividade foram semelhantes no primeiro e segundo dia – entre 221 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 226 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. No terceiro dia, os valores foram um pouco maiores e estiveram entre 227 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 230 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em julho/06, no primeiro dia, os valores estiveram entre 571 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 603 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (até 2,5 m); no segundo, entre 597 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 607 $\mu\text{S.cm}^{-1}$; e no terceiro foram maiores e entre 612 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 623 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. No fundo, os valores alcançaram no máximo 716 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Figura 28 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 29 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Conforme a Figura 30, as menores **transparências da água**, na lagoa anaeróbia 1, foram observadas em janeiro/06, quando variou entre 0,19 e 0,27 m, e julho/06, quando variou entre 0,19 e 0,22 m. Nestas duas épocas do ano, os valores nos dois pontos amostrados foram próximos.

Em setembro/05 e janeiro/06, a transparência da água foi maior. Em setembro/05, variou entre 0,32 e 0,59 m. Em abril/06, os valores na saída foram maiores que no meio, sendo que no meio foi 0,41 m nos três dias, enquanto que no meio variou entre 0,49 e 0,54 m.

Figura 30 - Transparência da água (m) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

- ETE de Pariquera-Açu: Lagoa anaeróbia 2**

Os perfis de **temperatura** foram semelhantes na maioria dos dias amostrados, nas quatro coletas (Figuras 31 e 32), exceto no primeiro dia em setembro/05, abril/06 e julho/06, na superfície.

Como na lagoa anaeróbia 1, as maiores temperaturas foram observadas em janeiro/06

e abril/06, enquanto que as menores em julho/06. As temperaturas, em setembro/06, estiveram entre 20,2 e 23,3 °C. Em janeiro/06 e em abril/06, entre 25,0 e 28,0 °C, e entre 25,3 e 27,9 °C, respectivamente. Em julho/06, entre 20,4 e 21,6 °C.

Em setembro/05, nos três dias amostrados, variação de temperatura maior que 0,6 °C foi observada até no máximo 1,5 m e a partir de então a temperatura permaneceu homogênea, aproximadamente 20 °C, em ambos os pontos, como na lagoa anaeróbia 1. A maior variação de temperatura no primeiro dia ocorreu entre 0,1 m (22,1 °C) e 1,0 m (20,8 °C), no meio ($\Delta = 1,3$ °C); entre 0,4 m (22,5 °C) e 1,0 m (20,8 °C), à saída ($\Delta = 1,7$ °C). No segundo dia, as maiores variações de temperatura foram observadas até 0,2 m: $\Delta = 1,1$ °C entre 0,0 m (22,9 °C) e 0,2 m (21,8 °C), no meio; e $\Delta = 1,3$ °C entre 0,0 m (23,3 °C) e 0,2 m (22,0 °C), à saída. No terceiro dia, a maior variação ocorreu até 1,5 m: $\Delta = 1,4$ °C entre 0,0 m (23,0 °C) e 1,0 m (21,6 °C), no meio; $\Delta = 0,9$ °C entre 1,0 m (21,6 °C) e 1,5 m (20,7 °C), à saída.

Diferentemente de setembro/05, as maiores variações de temperatura ocorreram no fundo da lagoa em janeiro/06, enquanto que nas camadas superficiais houve homogeneidade térmica ou pequena variação, como observado na lagoa anaeróbia 1 na mesma época. As maiores variações de temperatura foram semelhantes e entre 2 e 3 m, sendo que no primeiro dia foram: $\Delta = 1,5$ °C entre 2,0 m (27,0 °C) e 3,0 m (25,5 °C), no meio; e $\Delta = 1,6$ °C entre 2,0 m (27,0 °C) e 3,0 m (25,4 °C), à saída; no segundo, $\Delta = 1,7$ °C entre 2,0 m (26,9 °C) e 3,0 m (25,2 °C), no meio; e $\Delta = 1,9$ °C entre 2,0 m (26,9 °C) e 3,0 m (25,0 °C), à saída; e no terceiro, $\Delta = 1,6$ °C entre 2,0 m (26,9 °C) e 3,0 m (25,3 °C), no meio; e $\Delta = 1,7$ °C entre 2,0 m (26,9 °C) e 3,0 m (25,2 °C), à saída.

Em abril/06, como na lagoa anaeróbia 1, variações de temperatura maiores que 0,6 °C somente foram observados no primeiro dia: $\Delta = 1,9$ °C entre 0,1 m (27,6 °C) e 0,2 m (25,7 °C), à saída; e $\Delta = 2,3$ °C entre 0,0 m (27,9 °C) e 0,4 m (25,6 °C), no meio.

Em julho/06, pequena variação de temperatura foi observada no primeiro e terceiro dias. No primeiro dia, variação de temperatura foi observada até no máximo 0,4 m: $\Delta = 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 0,0 m (21,6 $^{\circ}\text{C}$) e 0,4 m (20,4 $^{\circ}\text{C}$), à saída; e $\Delta = 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 0,0 m (21,6 $^{\circ}\text{C}$) e 0,4 m (20,4 $^{\circ}\text{C}$), no meio. No terceiro dia, as variações de temperatura foram menores e mais profundas (entre 1,0 m e 2,0 m): $\Delta = 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 1,0 m (21,3 $^{\circ}\text{C}$) e 2,0 m (20,6 $^{\circ}\text{C}$), à saída; e $\Delta = 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 1,0 m (21,3 $^{\circ}\text{C}$) e 2,0 m (20,5 $^{\circ}\text{C}$), no meio.

Figura 31 - Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Paríquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 32 - Perfis de temperatura (°C) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

As concentrações de **oxigênio dissolvido** nos dois pontos foram semelhantes, na maioria dos dias, nas quatro coletas (Figuras 33 e 34), exceto no primeiro dia, em janeiro/06, quando se observaram as maiores concentrações na coluna de água (entre 4,1 e 2,2 mg.L⁻¹, na saída; e 2,5 e 1,9 mg.L⁻¹, no meio); até 1,0 m, no primeiro dia; até 0,2 m, no segundo dia, em abril/06.

Em setembro/05, os perfis de oxigênio dissolvido, foram homogêneos na coluna de água, sendo que as concentrações foram no máximo 0,7 mg.L⁻¹.

Em janeiro/06, as concentrações de oxigênio dissolvido foram homogêneas, exceto, à saída, no primeiro dia. No primeiro dia, foram observadas as maiores concentrações de oxigênio dissolvido na coluna de água desta lagoa, sendo que estiveram entre 4,1 mg.L⁻¹ e 2,2 mg.L⁻¹, à saída; e 2,5 mg.L⁻¹ e 1,9 mg.L⁻¹, no meio. No segundo dia, ocorreu concentração maior que 1 mg.L⁻¹: 1,3 mg.L⁻¹, no ponto do meio, na superfície. No segundo dia, na saída e no terceiro, nos dois pontos, as concentrações estiveram abaixo de 0,7 mg.L⁻¹.

Figura 33 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 34 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em dois pontos – meio (M) e saída (S) – na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Em abril/06, a coluna de água não esteve misturada em ambos os pontos no primeiro dia, até 1,0 m; e à saída, no segundo dia, até 0,2 m. No primeiro dia, houve distribuição heterogênea até 0,4 m e 1,0 m, à saída e meio, respectivamente, sendo que as concentrações estiveram entre: $7,6 \text{ mg.L}^{-1}$ (0,1 m) a $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (0,4 m), na saída; e $6,9 \text{ mg.L}^{-1}$ (0,1 m) e $1,8 \text{ mg.L}^{-1}$ (1,0 m), no meio; a partir de tais profundidades, as concentrações mantiveram-se constantes e acima de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, em ambos os pontos. No segundo dia, também houve elevadas concentração na superfície, na saída: $5,2 \text{ mg.L}^{-1}$. No meio, no segundo dia, e nos

dois pontos, no terceiro, as concentrações foram menores que $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$.

Em julho/06, houve homogeneidade vertical desta variável. As concentrações, nos três dias e nos dois pontos, foram menores que $0,21 \text{ mg.L}^{-1}$.

O **pH** (Figuras 35 e 36) esteve entre 6 e 8, em janeiro/06, entre 7 e 8, em abril/06 e entre 6 e 7, em julho/06. Os menores valores de pH ocorreram no fundo da lagoa em janeiro/06, e na superfície, em abril/06. Em julho/06, a coluna de água esteve homogênea para esta variável.

Diferentemente da lagoa anaeróbia 1, na lagoa anaeróbia 2 não houve diferença entre os valores nos dois pontos amostrados, em nenhuma das coletas. Porém, assim como na lagoa anaeróbia 1, a variação do pH foi semelhante à da temperatura, de forma que, em janeiro/06 os maiores gradientes foram observados no fundo da lagoa e nas camadas mais superficiais predominou a homogeneidade; em abril/06 e julho/06, houve predomínio da homogeneidade na coluna de água.

Em janeiro/06, no primeiro dia e no terceiro dias, houve homogeneidade até 2,0 m e decréscimo de pH a partir de então. Até 2,0 m, o pH manteve-se entre 7,2 e 7,4, nos quatro perfis. Porém a partir de 2,0 m, decresceu mais intensamente no terceiro dia, sendo que baixou até 3,0 m para: 7,0 e 6,9, na saída e no meio, respectivamente, no primeiro dia; e 6,1 e 6,2, à saída e meio, respectivamente, no terceiro dia. Pôde-se observar que no terceiro dia, o pH tornou-se menor que 7,0 entre 2,0 e 2,5 m, nos dois pontos. No segundo dia, o pH também esteve entre 7,3 e 7,4 nos dois pontos, até 1,5 m; após essa profundidade até 3,0 m, decresceu para 6,8 e 6,6 à saída e meio, respectivamente. Nesse dia, o pH tornou-se menor que 7,0 entre 1,5 e 2,0 m.

Em abril/06, assim como na lagoa anaeróbia 1, quando houve maior concentração de oxigênio dissolvido na superfície, os valores de pH foram menores. O pH foi heterogêneo no primeiro e segundo dia até 0,5 m, nos dois pontos. A 0,0 m, os valores foram de 7,5 e 7,3, no

meio e na saída, respectivamente, no primeiro dia; 7,4, na saída, no segundo dia. No meio, no segundo dia, o menor valor de pH ocorreu a 0,2 m (7,6). Os valores aumentaram até aproximadamente 0,5 m (7,7), nos dois pontos, nos dois dias; e estiveram entre 7,7 e 7,5 até 3,0 m. No terceiro dia, os dois perfis foram homogêneos como para temperatura e oxigênio dissolvido e estiveram entre 7,6 e 7,8.

Figura 35 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.

Figura 36 - Perfis de pH em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

Em julho/06, como na lagoa anaeróbia 1, houve homogeneidade de pH na coluna de água, assim como para oxigênio dissolvido, nos dois pontos e três dias. Esse foi o período de menores valores de pH e maior homogeneidade na coluna de água. Os valores de pH estiveram entre 6,8 (a 0,0 m, na saída, no primeiro dia) e 6,4 (a 2,8 m, no meio, no segundo dia), sendo que os maiores valores foram observados na superfície, enquanto que os menores no fundo, nos dois pontos e nos três dias.

Os perfis de **condutividade elétrica** nos dois pontos foram semelhantes, exceto no segundo dia, em janeiro/06 e abril/06 (Figuras 37 e 38). Em abril/06, os menores valores desta variável foram observados, assim como ocorrido na lagoa anaeróbia 1 e estiveram entre $100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ e $300 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Os maiores valores, como na lagoa anaeróbia 1, foram observados em julho/06 ($600 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ e $700 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$). Em setembro/05, os valores estiveram entre 400 e $500 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Em janeiro/06, os valores de condutividade e sua variação na coluna de água foram maiores, assim como na lagoa anaeróbia 1, e estiveram entre $400 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ a $800 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

Diferentemente da temperatura, os perfis de condutividade elétrica, em setembro/05, foram homogêneos, como na lagoa anaeróbia 1. Maior variação ocorreu no terceiro dia. A menor faixa de variação ocorreu no primeiro, quando os valores estiveram entre $424 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $438 \mu\text{S.cm}^{-1}$. No segundo dia, a variação foi de $426 \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $454 \mu\text{S.cm}^{-1}$. No terceiro dia a curva, nos dois pontos, foi sinuosa e entre $424 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $473 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Nesse período, a 3,0 m, no meio, os valores alcançaram máximo de $490 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em janeiro/06, assim como na lagoa anaeróbia 1, os gradientes de condutividade elétrica ocorreram no fundo da lagoa, enquanto que nas camadas superficiais houve homogeneidade, semelhante ao ocorrido para a temperatura. Os perfis de condutividade elétrica foram praticamente homogêneos até 1,5 m, aumentando os valores até 3,0 m, nos dois pontos e nos três dias.

Como em setembro/06, até 1,5 m, os valores estiveram entre $419 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $480 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Maiores valores ocorreram no primeiro dia ($453 \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $480 \mu\text{S.cm}^{-1}$). Nos demais dias, os valores estiveram entre $419 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $460 \mu\text{S.cm}^{-1}$. A partir de 1,5 m, a condutividade elétrica aumentou, sendo que a 3,0 m alcançou máximo de $747 \mu\text{S.cm}^{-1}$, e mínimo de $666 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em abril/06, os perfis de condutividade elétrica foram praticamente homogêneos assim como a distribuição de temperatura, e semelhante ao ocorrido na lagoa anaeróbia 1. Nessa coleta, os menores valores desta variável foram observados, como na lagoa anaeróbia 1. Os valores estiveram entre $232 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $252 \mu\text{S.cm}^{-1}$, exceto na saída, no segundo dia, quando houve variação até 0,4 m, e as condutividades estiveram entre $170 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,0 m) e $244 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,4 m); até 2,5 m, nesse ponto, o maior valor foi $255 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Em julho/06, período em que houve a maior homogeneidade na coluna de água para temperatura, pH, oxigênio dissolvido, também houve para condutividade elétrica, como na lagoa anaeróbia 1. Menores faixas de condutividade foram observadas no primeiro dia,

quando os valores estiveram entre $603 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $616 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Nos outros dois dias, os valores estiveram entre $607 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $630 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Figura 37 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 38 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Conforme a Figura 39, os menores valores de **transparência da água**, na lagoa anaeróbia 2, também foram observados em janeiro/06, quando variou entre 0,22 e 0,27 m, e julho/06, quando variou entre 0,16 e 0,22 m. Nas duas épocas do ano, os valores nos dois pontos amostrados foram próximos.

Em setembro/05, maior valor foi observado no meio, no segundo dia. Nos outros dias e pontos, os valores estiveram entre 0,27 e 0,32 m. Em abril/06, os valores diminuíram do primeiro ao terceiro dia, e foram semelhantes nos dois pontos amostrados. Neta época do ano,

a transparência da água variou entre 0,59 e 0,81 m.

Figura 39 - Transparência da água (m) em dois pontos – meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa anaeróbia da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

- **ETE de Pariquera-Açu: lagoa facultativa com chicanas 1**

Os perfis de **temperatura** nos três pontos foram semelhantes em apenas dois dias: segundo e terceiro dias em janeiro/06. Porém, pôde-se notar que a variação espacial, ou seja, a diferença de temperatura nos três pontos, nessa lagoa foi menor que a observada na lagoa

facultativa convencional (Figuras 40 e 41).

Em setembro/05, as temperaturas estiveram entre 19,8 (1,5 m, entrada e meio, no primeiro dia) e 23,7 °C (0,0 m, saída, no segundo dia). Em janeiro/06 e abril/06, as temperaturas foram maiores e estiveram entre 25,5 (1,5 m, saída, terceiro dia) e 29,2 °C (0,0 m, saída, no primeiro dia) e entre 25,2 (1,5 m, entrada e meio, no primeiro dia e saída, no terceiro dia) e 29,5 °C (0,0 m, saída, primeiro dia), respectivamente. Em julho/06, as temperaturas foram menores e estiveram entre 19,6 (1,5 m, nos três pontos, no primeiro dia) e 22,6 °C (0,0 m, no meio, no terceiro dia).

Em setembro/05, no primeiro dia, nos três pontos, foram notadas variações semelhantes, sendo que houve homogeneidade até 0,3 m e a partir de 0,8 m, e variação de temperatura maior que 0,6 °C foi observada entre 0,3 m e 0,8 m. Assim, foram delimitadas três áreas através de duas linhas “L”. Menores variações de temperatura foram observadas na entrada ($\Delta = 2,1$ °C) entre 0,3 m (22,4 °C) e 0,8 m (20,3 °C), enquanto que as maiores foram notadas na saída ($\Delta = 2,8$ °C) também entre 0,3 m (22,9 °C) e 0,8 m (20,1 °C). No meio, houve variação de temperatura de 2,6 °C, entre 0,2 m (22,7 °C) e 0,8 m (20,1 °C).

No segundo dia, foi observada menor variação de temperatura até 0,5 m e maior desta profundidade até 1,0 m. Assim foram delimitadas duas áreas através de uma linha “L”. As maiores variações de temperatura foram observadas entre 0,5 m e 1,0 m, na entrada e na saída. Nestes dois pontos, as variações foram iguais a 1,7 °C, entre 0,5 m (22,1 °C) e 0,9 m (20,4 °C), na entrada; e entre 0,7 m (22,3 °C) e 1,0 m (20,6 °C), na saída. No meio, a variação foi menor ($\Delta = 1,3$ °C) e ocorreu entre 0,7 m (21,9 °C) e 1,0 m (20,6 °C).

No terceiro dia, a variação vertical da temperatura, no meio e na saída, foi semelhante. A menor variação ocorreu até 0,6 m, e maior foi observada a partir desta profundidade, nos dois pontos. As maiores variações ocorreram entre 0,6 m (22,4 °C) e 1,5 m (20,0 °C) ($\Delta = 2,4$ °C), no meio; e entre 0,6 m (22,7 °C) e 1,5 m (20,0 °C) ($\Delta = 2,7$ °C), na saída.

Em janeiro/06, no primeiro dia, a maior variação entre os pontos ocorreu até 0,3 m e, a partir de então, houve semelhança e linearidade no perfil de temperatura dos três pontos. Variações de temperatura iguais na coluna de água foram observadas na entrada e no meio ($\Delta = 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$) entre 0,0 m ($28,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($27,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$), na entrada; e entre 0,0 m ($28,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($27,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$), no meio. Na saída, a variação de temperatura foi maior ($\Delta = 1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) entre 0,0 m ($29,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($28,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

No segundo e terceiro dias, houve semelhança entre as distribuições verticais de temperatura, sendo que foram observadas homogeneidade e semelhança entre os três pontos até 1,0 m e diminuição de temperatura em alguns perfis, no fundo.

Em abril/06, no primeiro e segundo dia, a maior diferença de temperatura entre os pontos e a maior variação de temperatura na coluna de água ocorreu até 0,3 m e a partir dessa profundidade houve homogeneidade e semelhança entre os três pontos. Assim, foram delimitadas duas áreas através de uma linha “L”, em cada gráfico. Maiores variações de temperatura na coluna de água foram observadas no primeiro dia entre 0,1 m ($28,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($25,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$), na entrada ($\Delta = 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$); entre 0,0 m ($28,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($25,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$), no meio ($\Delta = 2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$); e entre 0,0 m ($29,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($25,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$), à saída ($\Delta = 3,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

No segundo dia, as maiores variações de temperatura na coluna de água aumentaram da entrada para a saída do sistema, sendo de $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 0,1 m ($26,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($25,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$), na entrada; de $0,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 0,0 m ($26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,1 m ($25,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$), no meio; e de $1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 0,0 m ($27,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($25,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$), à saída.

No terceiro dia, a maior diferença entre os valores ocorreu até 0,5 m e a partir dessa profundidade foram observadas homogeneidade e semelhança entre os três pontos. Assim, nesse dia também foram delimitadas duas áreas, através de uma linha “L”. Variação de temperatura maior que no dia anterior foi observada no meio ($\Delta = 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) entre $26,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (0,0 m) e $25,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (0,4 m); e menor na saída ($\Delta = 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$) entre $26,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (0,0 m) e $25,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

(0,5 m).

Figura 40 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Em julho/06, no primeiro dia, a maior diferença entre os pontos ocorreu até 0,6 m quando, a partir de então, houve semelhança no perfil de temperatura dos três pontos. Dessa forma, foram delimitadas duas áreas, através de “L”. Até 0,6 m, as diferenças de temperatura na coluna de água também aumentaram da entrada em direção à saída, sendo de 1,4 °C, entre 0,0 m (21,1 °C) e 0,3 m (19,7 °C), na entrada; de 1,5 °C, entre 0,0 m (21,1 °C) e 0,3 m

(19,6 °C), no meio; e de 2,5 °C entre 0,0 m (22,1 °C) e 0,3 m (19,6 °C), à saída.

No segundo dia, a maior diferença entre os pontos foi observada até 0,2 m e após essa profundidade os perfis foram semelhantes e lineares. Assim, duas áreas foram delimitadas através de “L”. Variações de temperatura na coluna de água maiores que 0,6 °C e menores que no dia anterior foram observadas no meio ($\Delta = 0,7$ °C), entre 20,8 °C (0,0 m) e 20,1 °C (0,2 m); e na saída ($\Delta = 1,3$ °C), entre 21,3 °C (0,0 m) e 20,0 °C (0,2 m).

Figura 41 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

No terceiro dia, as maiores variações de temperatura foram observadas até 0,3 m; após essa profundidade houve semelhança entre os perfis de temperatura e estes foram lineares. Duas áreas foram delimitadas por “L”. Como em abril/06, porém com valores mais elevados, variação de temperatura maior que 0,6 °C foi observada apenas no meio ($\Delta = 1,9$ °C), entre 22,6 °C (0,0 m) e 21,6 °C (0,3 m); e na saída ($\Delta = 0,8$ °C), entre 22,4 °C (0,0 m) e 21,6 °C (0,3 m).

Os perfis de **oxigênio dissolvido** foram semelhantes em setembro/05 e abril/06, quando foram observadas as maiores concentrações desta variável e maior heterogeneidade. Nesses meses, as concentrações foram menores na entrada e maiores no fundo em setembro/05, (segundo e terceiro dia) e em abril/06 (segundo dia). Em janeiro/06 (segundo e terceiro dias) e julho/06 (todos os dias) os perfis foram homogêneos (Figuras 42 e 43).

Em setembro/05, no primeiro dia, as maiores concentrações, localizadas nas camadas superficiais, estiveram entre 7,9 mg.L⁻¹ (entrada) e 9,9 mg.L⁻¹ (saída). No segundo dia, as maiores concentrações estiveram entre 5,8 mg.L⁻¹ (entrada) e 12,0 mg.L⁻¹ (saída). No terceiro dia, estas concentrações estiveram entre 8,3 mg.L⁻¹ (meio) e 11,6 mg.L⁻¹ (saída). Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram encontradas até no mínimo 0,2 m (entrada, segundo dia) e no máximo 0,8 m (saída, segundo e terceiro dias).

Em janeiro/06, as concentrações de oxigênio dissolvido foram praticamente homogêneas e menores que 1,5 mg.L⁻¹, no segundo e terceiro dias. Nesses dias, houve semelhança entre as concentrações nos três pontos. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram encontradas até 0,2 m, na entrada; 0,1 m, no meio; e 1,5 m, à saída, no segundo dia; e não foram observadas em nenhum ponto, no terceiro. No primeiro dia, as maiores concentrações estiveram entre 5,0 mg.L⁻¹ (entrada) e 9,6 mg.L⁻¹ (meio). Nesse dia, concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram notados até o fundo, nos três pontos amostrados.

Em abril/06, não houve distribuição homogênea das concentrações desta variável. No

primeiro dia, foram observadas as maiores concentrações, na superfície, e estiveram entre 11,8 mg.L⁻¹ (entrada) e 15,9 mg.L⁻¹ (saída). No segundo dia, foram observadas as menores concentrações na superfície, entre 4,7 mg.L⁻¹ (entrada) e 8,5 mg.L⁻¹ (saída). No terceiro dia, as maiores concentrações estiveram entre 4,0 mg.L⁻¹ (entrada) e 8,1 mg.L⁻¹ (saída). Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até no máximo 1,5 m (três pontos, no primeiro dia) e no mínimo 0,2 m (entrada, no segundo dia).

Figura 42 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Em julho/06, a distribuição de oxigênio dissolvido foi homogênea na coluna de água,

nos três pontos e três dias. As concentrações de oxigênio foram menores que $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, nos três pontos e nos três dias. Este foi o período em que foram observadas as menores concentrações desta variável, nos três pontos e dias amostrados.

Figura 43 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Pelos perfis de **pH** (Figuras 44 e 45), foi possível observar que os menores valores ocorreram na entrada e os maiores, na saída, em janeiro/06 (primeiro dia), em abril/06 (segundo e terceiro dias). Os valores de pH em abril/06 foram maiores que em janeiro/06. Em julho/06, os valores foram homogêneos na coluna de água e os perfis foram próximos nos três

pontos.

Em janeiro/06, os valores de pH estiveram entre 7 e 10, no primeiro dia; 7 e 8, no segundo dia e terceiro dias. Em abril/06, os valores de pH estiveram entre 7 e 10, no primeiro dia; 7 e 9, no segundo e terceiro dias. Em julho/06, os valores de pH estiveram entre 6 e 8, nos três dias. O comportamento do pH foi linear e semelhante ao do oxigênio dissolvido.

Em geral, os perfis de pH refletiram o que ocorreu com a distribuição de oxigênio dissolvido, com linearidade em julho/06 e nos dois últimos dias de janeiro/06, e heterogeneidade vertical no primeiro dia de janeiro/06. A maior variação vertical destas duas variáveis ocorreu no primeiro dia de abril/06. Apenas não houve semelhança entre os perfis de pH e oxigênio dissolvido, no terceiro dia, em abril/06.

Em janeiro/06, no primeiro, na entrada, foram observados os menores valores de pH assim como as menores concentrações de oxigênio dissolvido. Nesse dia, houve maior variação de pH, no meio (entre 8,9 e 7,8) e na saída (entre 9,2 e 8,1). Na entrada a variação foi menor (entre 7,8 e 7,6). Nos outros dias, a menor variação foi observada no meio, no segundo dia, entre 0,5 m e 1,5 m, onde os valores foram 7,6 e 7,4, respectivamente; e a menor variação ocorreu na saída, no terceiro dia, entre 1,0 m e 1,5 m, onde os valores de pH foram 7,8 e 7,3, respectivamente.

Em abril/06, as maiores variações foram observadas no primeiro dia, na entrada (8,8 a 7,7) e na saída (9,6 a 7,7). Nos outros dois dias, a menor variação foi observada na entrada, no terceiro dia, entre 0,1 m e 1,0 m, onde os valores foram 7,6 e 7,5, respectivamente. A maior variação ocorreu na saída, no terceiro dia, entre 0,0 m e 0,9 m, onde os valores foram 8,9 e 8,2, respectivamente; e na saída, no terceiro dia, entre 0,0 m e 1,0 m, onde os valores foram 8,3 e 7,6, respectivamente.

Em julho/06, menores variações foram observadas, quando comparadas às das outras épocas do ano. A menor variação ocorreu na entrada e no meio, no primeiro dia, e na entrada,

no segundo dia e foi igual a 0,1. A maior variação foi observada na entrada e no meio, no terceiro dia e foi igual a 0,4.

Figura 44 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.

Figura 45 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

O padrão dos perfis de **condutividade elétrica** nos três pontos e nas quatro coletas da primeira lagoa facultativa com chicana foi semelhante, no entanto as faixas de valores foram diferentes. Assim como ocorreu com a condutividade elétrica nas lagoas descritas anteriormente, a faixa de variação da condutividade elétrica foi semelhante nos meses de setembro/05 e janeiro/06 e igual a $400 - 500 \mu\text{S.cm}^{-1}$. A menor faixa de variação também ocorreu em abril/06 ($100 - 300 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e a maior em julho/06 ($500 - 700 \mu\text{S.cm}^{-1}$) (Figuras 46 e 47).

Em setembro/05, abril/06 e julho/06 a condutividade elétrica apresentou-se praticamente homogênea durante os três pontos, nos três dias. No primeiro dia, em janeiro/06, a condutividade aumentou da superfície em direção ao fundo, exceto no ponto na entrada da lagoa. Nos outros dois dias, esses valores aumentaram apenas no fundo permanecendo homogêneos até 1,0 m.

Em setembro/05, os maiores valores foram observados no primeiro dia e estiveram entre $437 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $448 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – 1,5 m, na saída e 0,0 m, no meio. Os menores valores foram observados no terceiro dia, entre $425 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $441 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – 0,1 m, na saída e a partir

de 1,0 m, na saída, respectivamente. Nessa época do ano, não houve aumento de condutividade elétrica no fundo da coluna de água.

Em janeiro/06, os menores valores foram observados no primeiro dia, entre $392 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $443 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – a 0,0 m, na saída e 0,9 m, na saída, respectivamente. Os maiores, no segundo dia, entre $414 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $440 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – 0,1 m, na entrada e 1,0 m, na saída, respectivamente. No fundo, a condutividade elétrica aumentou até no máximo $665 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, terceiro dia) e no mínimo $486 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, terceiro dia). Apenas não houve aumento de valores no fundo, no primeiro dia, na saída.

Figura 46 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 47 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 1 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Em abril/06, a maior faixa de valores foi observada no segundo dia e esteve entre $196 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $228 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – 0,0 m, na saída e a partir de 1,0 m, na entrada, respectivamente. A maior faixa ocorreu no terceiro dia, entre $203 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $218 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – a 0,0 m, no meio e 0,3 e 0,5 m, na entrada, respectivamente. No fundo, os valores apenas aumentaram no primeiro dia, nos três pontos e no terceiro, na saída. Esses valores aumentaram até no máximo $263 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – entrada, primeiro dia - e no mínimo $250 \mu\text{S.cm}^{-1}$ - saída, primeiro dia.

Em julho/06, a menor faixa de valores foi observada no segundo dia, entre $602 \mu\text{S.cm}^{-1}$

¹ e $580 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – entre 0,0 m e 0,6 m, na saída. Os maiores valores foram observados no terceiro dia, entre $616 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $585 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – a 0,0 m, na entrada e 1,0 m, no meio, respectivamente. Nessa época do ano, os maiores valores foram observados na superfície (0,0 m), exceto na entrada, no primeiro dia, quando foi observado no fundo. Esses valores foram no máximo $616 \mu\text{S.cm}^{-1}$ - no terceiro dia, na entrada - e no mínimo $595 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – no primeiro dia, no meio.

Conforme a Figura 48, os menores valores de **transparência da água**, na primeira lagoa facultativa com chicanas 1, foram observados em janeiro/06, quando variaram entre 0,27 e 0,41 m, e julho/06, quando variaram entre 0,16 e 0,32 m. Nos três pontos amostrados, nestas duas épocas do ano, os valores foram próximos e aumentaram do primeiro ao terceiro dia.

Os maiores valores de transparência da água foram observados em setembro/05, quando variaram entre 0,54 e 0,86 m, sendo maiores no ponto do meio. Em abril/06, os valores variaram entre 0,49 e 0,54 m, sendo menores na saída.

- **ETE de Pariquera-Açu: lagoa facultativa com chicanas 2**

Os perfis de **temperatura** foram homogêneos apenas no segundo e terceiro dias, em janeiro/06. Porém, a diferença entre os três pontos foi menor que na lagoa facultativa convencional, assim como o ocorrido na lagoa facultativa com chicanas 1 (Figuras 49 e 50).

Figura 48 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na primeira lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

Em setembro/05, as temperaturas estiveram entre 19,9 (1,5 m, meio e saída, no primeiro e segundo dias) e 23,7 °C (0,0 m, saída, no segundo dia). Em janeiro/06 e em abril/06, as temperaturas foram maiores e entre 26,5 (1,5 m, meio, segundo dia; meio e saída, terceiro dia) e 30,3 °C (0,0 m, meio, primeiro dia); e entre 25,2 (1,5 m, três pontos, primeiro e terceiro dias) e 29,7 °C (0,0 m, entrada, primeiro dia), respectivamente. Em julho/06, a faixa de temperaturas foi maior e esteve entre 19,4 (1,5 m, entrada, primeiro dia) e 26,6 °C (0,0 m, entrada, primeiro dia).

Em setembro/05, no primeiro dia, o maior decréscimo de temperatura na coluna de água ocorreu entre 0,5 m e 0,9 m; no segundo dia, entre 0,4 m e 1,5 m; e no terceiro, entre 0,4 m e 1,5 m. Assim, no primeiro dia, foram delimitadas três áreas, através de duas linhas “L” e nos outros dias, duas áreas, através de “L”.

No primeiro dia, as maiores variações de temperatura estiveram entre 0,5 m (22,3 °C) e 0,9 m (20,4 °C), na entrada (1,9 °C); entre 0,5 m (22,3 °C) e 0,9 m (20,2 °C), no meio (2,1 °C); e entre 0,5 m (22,4 °C) e 0,9 m (20,1 °C), na saída (2,3 °C). As variações de temperatura na coluna de água aumentaram em direção à saída da lagoa.

No segundo dia, as maiores variações verticais de temperatura ocorreram até 1,0 m e, ao contrário do que primeiro dia, os valores diminuíram em direção à saída da lagoa. Na entrada, estas variações ocorreram entre 0,4 m (22,7 °C) e 1,0 m (20,3 °C) (2,4 °C); entre 0,4 m (22,9 °C) e 1,0 m (20,8 °C), no meio (2,1 °C); e entre 0,5 m (23,0 °C) e 0,7 m (22,2 °C), à saída (0,8 °C).

No terceiro dia, as variações de temperatura na coluna de água nos três pontos foram maiores que no dia anterior e aumentaram em direção à saída. As maiores variações ocorreram entre 0,5 m (23,0 °C) e 1,5 m (20,0 °C), no meio (3,0 °C); e entre 0,4 m (23,3 °C) e 1,5 m (20,1 °C), na saída (3,2 °C).

Em janeiro/06, no primeiro dia, a maior variação entre os pontos ocorreu de 0,0 m a 0,3 m; a partir dessa profundidade a temperatura decresceu lentamente e houve semelhança nos perfis nos três pontos. No segundo e terceiro dias, houve semelhança entre os perfis, com homogeneidade até 1,0 m e temperaturas menores no fundo. Assim, foram delimitadas duas áreas para cada período de amostragem, através de uma linha “L”.

No primeiro dia, as maiores variações de temperatura, observadas até 0,3 m, foram de 2,5 °C, entre 0,0 m (30,1 °C) e 0,3 m (27,6 °C), na entrada; de 2,3 °C, entre 0,0 m (30,3 °C) e 0,3 m (28,0 °C), no meio; e de 1,0 °C, entre 0,0 m (29,1 °C) e 0,3 m (28,1 °C), à saída.

No segundo e terceiro dias houve semelhança entre os perfis, com homogeneidade até 1,0 m e temperaturas menores no fundo. No segundo dia, de 0,0 m a 1,0 m, as temperaturas permaneceram iguais a aproximadamente 27,5 °C nos três pontos. A 1,5 m os valores medidos foram 26,6 °C, na entrada; 26,5 °C, no meio; e 26,8 °C, à saída.

No terceiro dia, de 0,0 m a 1,0 m, as temperaturas estiveram entre: 27,6 °C e 27,4 °C, nos três pontos. A 1,5 m a temperatura diminuiu para: 26,6 °C, na entrada; 26,5 °C, no meio; e 26,5 °C, à saída.

Em abril/06, no primeiro dia, a maior variação de temperatura na coluna de água ocorreu de 0,0 m a 0,4 m, e esteve entre 2,7 e 3,9 °C; no segundo dia, ocorreu até 0,3 m e esteve entre 2 e 2,3 °C; e no terceiro ocorreu até 0,6 m e esteve entre 0,7 e 1,7 °C. A partir dessas profundidades, as temperaturas, nos três pontos, decresceram de forma semelhante. Assim, foram delimitadas duas áreas em cada gráfico, através de uma linha “L”.

No primeiro dia, foram observadas as maiores variações de temperatura na entrada (3,9 °C), entre 0,0 m (29,7 °C) e 0,4 m (25,8 °C) e na saída (3,6 °C), entre 0,0 m (29,2 °C) e 0,4 m (25,6 °C). No meio, foi verificada a menor variação de temperatura (2,7 °C) e ocorreu entre 0,0 m (28,5 °C) e 0,4 m (25,8 °C).

No segundo dia, as maiores variações de temperatura foram iguais no meio e na saída (2,3 °C) e ocorreram entre 0,0 m (25,9 °C) e 0,1 m (28,2 °C), no meio; e entre 0,0 m (28,2 °C) e 0,3 m (25,9 °C), na saída. A menor variação de temperatura ocorreu na entrada (2,0 °C), entre 0,1 m (27,6 °C) e 0,3 m (25,6 °C).

No terceiro dia, a variação de temperatura na entrada (1,7 °C) foi maior que no meio (0,7 °C), e ocorreram entre 0,1 m (27,1 °C) e 0,6 m (25,4 °C) e 0,0 m (26,0 °C) e 0,7 m (25,3 °C), respectivamente.

Figura 49 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Em julho/06, a maior diminuição de temperatura, assim como a maior diferença, entre os perfis nos três pontos, ocorreu até 0,6 m, no primeiro dia e até 0,4 m, no segundo e terceiro dias; a partir de então, os perfis foram semelhantes e lineares.

No primeiro dia, as maiores variações de temperatura foram de 2,4 °C, entre 0,3 m (22,7 °C) e 0,6 m (20,3 °C), na entrada; de 3,2 °C, entre 0,2 m (23,0 °C) e 0,7 m (19,8 °C), no meio; e de 3,2 °C, entre 0,0 m (23,0 °C) e 0,6 m (19,8 °C), à saída.

No segundo dia, as variações de temperatura foram, comparativamente, menores que

no primeiro dia, sendo maior no meio (2,5 °C), entre 22,7 °C (0,0 m) e 20,2 °C (0,1 m); e menor na saída (0,8 °C), entre 21,0 °C (0,1 m) e 20,2 °C (0,2 m). Na entrada, a variação de temperatura foi de 1,3 °C, entre 20,6 °C (0,2 m) e 19,3 (0,4 m).

No terceiro dia, as maiores variações de temperatura foram observadas até 0,4 m e diminuíram em direção à saída. Na entrada, foi de 5,8 °C, entre 26,4 °C (0,1 m) e 20,6 °C (0,2 m). No meio foi de 2,8 °C, entre 22,3 °C (0,0 m) e 19,5 °C (0,4 m). E na saída, de 1,1 °C, entre 21,5 °C (0,0 m) e 20,4 °C (0,1 m).

Figura 50 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

As mensurações das **temperaturas na coluna de água em 12 pontos** (Figura 51) foram feitas da saída para a entrada, na parte da manhã, e a temperatura do ar aumentou de 21 °C e 26,7 °C, desde o início das mensurações até o final, assim como a radiação fotossinteticamente ativa, que aumentou de 1824 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ até 1991 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Tabela 33).

Embora as termoclinas tenham aumentado ou diminuído espacialmente, as temperaturas médias dos perfis foram semelhantes e estiveram entre 19,6 °C e 20,8 °C. As termoclinas estiveram entre 0,5 e 6,5 °C, sendo que as maiores estiveram na entrada, enquanto que as menores, na saída da lagoa. Todas as termoclinas estiveram entre 0,0 m até no máximo 0,4 m.

Figura 51 - Pontos amostrados, na lagoa facultativa com chicanas 2, em julho/06.

Tabela 34 - Temperaturas médias na coluna de água, temperatura do ar, termoclina, e radiação fotossinteticamente ativa, em 12 pontos, na lagoa facultativa com chicanas 2, em julho/06.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
média	20,0	19,9	19,9	20,2	20,0	19,6	19,8
radiação	1824	1663	1663	2063	1912	1905	1940
termoclina (°C)	3,96	1,85	2,83	3,97	3,12	0,58	2,62
Extremos (m)	0,0-0,3	0,0-0,4	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3
temperatura do ar	21	21,67	22,33	23,00	23,45	23,90	24,35

	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
média	20,1	20,7	20,4	20,2	20,2	20,8	20,6
radiação	1956	1983	1956	1921	1990	2030	1991
termoclina (°C)	3,89	6,62	5,20	4,55	5,02	6,81	6,40
Extremos (m)	0,0-0,3	0,0-0,2	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3	0,0-0,3
temperatura do ar	24,80	25,25	25,70	26,15	26,6	27,05	27,50

As maiores concentrações de **oxigênio dissolvido**, como na lagoa facultativa com chicanas 1, foram observadas em setembro/06 e abril/06. Quanto às menores, foram observadas em janeiro/06. Os perfis de oxigênio apresentaram-se com menores concentrações na entrada e maiores na saída, apenas no primeiro e segundo dias, em setembro/05 e no segundo dia de julho/06 (Figura 52 e 53).

Em setembro/05, a coluna de água permaneceu heterogênea para o oxigênio dissolvido. No primeiro dia, as maiores concentrações estiveram entre 6,9 mg.L⁻¹ (meio) e 9,5 mg.L⁻¹ (saída) – ambos a 0,1 m. No segundo dia, estas concentrações foram maiores que nos outros dias e, na superfície, alcançaram 8,0 mg.L⁻¹ (entrada) e 11,8 mg.L⁻¹ (meio) – ambos a 0,0 m. No terceiro dia, as maiores concentrações estiveram entre 7,8 mg.L⁻¹ (meio) e 10,7 mg.L⁻¹ (saída) – a 0,0 m e 0,3 m, respectivamente. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram medidas até no máximo 1,0 m (saída, no segundo dia) e no mínimo 0,4 m (entrada,

segundo dia).

Em janeiro/06, houve distribuição homogênea de oxigênio dissolvido no segundo e terceiro dias, assim como semelhança entre as concentrações nos três pontos. No segundo dia, as concentrações foram menores que $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e concentrações maiores que $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ foram medidas até as camadas mais profundas da lagoa. No terceiro dia, as concentrações desta variável foram próximas a $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$, nos três pontos amostrados.

Figura 52 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 53 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

No primeiro dia, as maiores concentrações estiveram entre $9,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) e $7,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída) – ambos a 0,0 m. Concentrações maiores que $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ foram observadas até 0,7 m, na entrada; e 1,5 m, no meio e à saída.

Em abril/06, houve heterogeneidade na distribuição vertical de oxigênio dissolvido. As maiores concentrações, na superfície, foram observadas no primeiro dia e estiveram entre $13,7 \text{ mg.L}^{-1}$ (meio) e $16,7 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída) – ambas a 0,0 m. As menores concentrações, na superfície, foram observadas no terceiro dia e estiveram entre $6,6 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) e $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída) – ambas a 0,0 m. No segundo dia, as maiores concentrações estiveram entre

9,7 mg.L⁻¹ (entrada) e 11,1 mg.L⁻¹ (saída) – a 0,2 m e 0,1 m, respectivamente. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram encontradas até no máximo 1,5 m (meio e saída, primeiro dia) e no mínimo 0,4 m (entrada, segundo dia).

Em julho/06, a heterogeneidade na coluna de água foi observada até, no máximo, 0,4 m. No primeiro dia, as maiores concentrações estiveram entre 10,8 mg.L⁻¹ (entrada) e 4,7 mg.L⁻¹ (saída) – 0,1 m e 0,0 m, respectivamente. No segundo dia, estiveram entre 0,2 mg.L⁻¹ (entrada) e 10,7 mg.L⁻¹ (saída) – ambos a 0,0 m. E no terceiro foram menores e estiveram entre 2,0 mg.L⁻¹ (entrada) e 8,6 mg.L⁻¹ (saída) – ambos a 0,0 m. Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram encontradas até no máximo 0,3 m (entrada, terceiro dia).

Os perfis de **pH**, na segunda lagoa com chicana da ETE de Pariquera-Açu (Figuras 54 e 55), foram próximos nos três dias, em janeiro/06 e no primeiro dia, em abril/06. Em janeiro/06, no primeiro dia, houve decréscimo do pH com a profundidade. Nos outros dias, houve homogeneidade de pH até 1,0 m, assim como foram observados perfis mais homogêneos de oxigênio dissolvido. Os valores estiveram entre 7 e 9, no primeiro dia; e entre 7 e 8, no segundo e terceiro dias. Em abril/06, o pH alcançou maiores valores, assim como as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, e esteve entre 8 e 10, no primeiro e segundo dias; e 7 e 9, no terceiro. Em julho/06, o pH alcançou menores valores e esteve entre 6 e 8, no primeiro dia; e entre 6 a 9, no segundo e terceiro dias.

Em janeiro/06 (Figura 54), a maior variação, até 1,0 m, ocorreu no primeiro dia, sendo a maior variação de pH ocorreu entre 0,0 m (8,5) e 0,8 m (7,7), na entrada; 0,0 m (8,6) e 0,9 m (7,8), no meio; e 0,1 m (8,4) e 0,9 m (7,8) na saída. Nos outros dias, até 1,0 m, a variação de esteve entre 0,0 e 0,2. Nos três dias, os valores de pH foram menores no fundo, sendo que no primeiro dia estiveram entre 7,6 e 7,7; e no segundo e terceiro, estiveram entre 7,2 e 7,4.

Em abril/06 (Figura 54), no primeiro dia, houve as maiores variações nos três pontos: entre 0,0 m (9,6) e 1,0 m (8,3), na entrada, 0,0 m (9,6) e 1,5 m (8,3), no meio; e entre 0,0 m

(9,5) e 1,5 m (8,2), na saída. No segundo dia, as variações ocorreram até 0,7 m e estiveram entre 0,6 e 1,1. No terceiro dia, as variações foram menores e estiveram entre 0,4 e 0,7.

Em julho/06 (Figura 55), as maiores variações foram observadas no primeiro dia, entre 0,0 m (7,8) e 0,2 m (6,9), na entrada; no segundo dia, entre 0,0 m (8,1) e 0,7 m (7,0), na saída; e no terceiro dia, entre 0,0 m (8,2) e 1,0 m (6,9), na saída. Nos outros perfis, a menor variação foi observada no segundo dia, entre 0,0 m (7,1) e 0,8 m (6,9), na entrada; e a maior variação ocorreu no terceiro dia, entre 0,0 m (7,9) e 0,4 m (6,9), no meio. No fundo, no segundo e terceiro dias, os valores alcançaram no mínimo 6,9 (entrada, no segundo dia e entrada e meio, terceiro dia) e no máximo 7,1 (saída, no segundo dia).

Figura 54 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.

Figura 55 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

O padrão dos perfis de **condutividade elétrica** nos três pontos e nas quatro coletas da segunda lagoa facultativa com chicana foi semelhante ao padrão encontrado nas demais lagoas. No entanto, as faixas de valores foram diferentes. Nesta lagoa, a faixa de variação da condutividade elétrica foi semelhante à primeira lagoa com chicana. Nos meses de setembro/05 e janeiro/06 e igual a $400 - 500 \mu\text{S.cm}^{-1}$. A menor faixa de variação também ocorreu em abril/06 ($100 - 300 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e a maior em julho/06 ($500 - 700 \mu\text{S.cm}^{-1}$) (Figuras 56 a 57).

Em setembro/05, janeiro/06 e abril/06 a distribuição de condutividade elétrica esteve homogênea nos três pontos amostrados. Em julho/06, a homogeneidade apenas foi observada no segundo e terceiro dias, nos três pontos.

Em setembro/05, os menores valores foram observados no terceiro dia, entre $429 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $439 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – entre 0,0 e 0,1 m, na saída e 1,5 m, na saída. Nos outros dias, os valores foram semelhantes entre $431 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entre 0,7 e 0,8 m, na saída, no segundo dia) e $443 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (em vários pontos, na entrada e no meio, no primeiro dia). Nessa época do ano, no fundo, não houve diminuição da condutividade elétrica.

Em janeiro/06, os menores valores foram observados no terceiro dia, entre 418 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,2 m, na saída) e 445 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (1,0 m, no meio). Nos outros dois dias, os valores estiveram entre 430 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,0 e 0,1 m, entrada) e 467 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (1,0 m, na saída). No fundo, os valores aumentaram até no máximo 526 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, terceiro dia) e no mínimo 486 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, primeiro dia). Apenas não houve aumento na saída, no terceiro dia.

Figura 56 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 57 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa com chicanas 2 da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Em abril/06, os valores, nos três dias, foram próximos e entre $190 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,1 m, na saída, no segundo dia) e $220 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (1,0 m, saída, primeiro dia). No fundo, a condutividade elétrica aumentou até no máximo $285 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, primeiro dia) e no mínimo $222 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, segundo dia).

Em julho/06, a maior faixa de valores foi observada no primeiro dia, entre $641 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,1 m, na entrada) e $553 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (a partir de 0,3 m, na saída). A menor faixa foi observada no terceiro dia, e foi de $600 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (0,5 m, na entrada) a $563 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entre 0,9 m e 1,0m, na

saída). Os maiores valores, no primeiro e segundo dias, foram observados à 0,0 m ou à 0,1 m e variaram entre $641 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $562 \mu\text{S.cm}^{-1}$ – primeiro dia, na entrada e segundo dia, na saída, respectivamente.

Conforme a Figura 58, os menores valores de **transparência da água**, na segunda lagoa facultativa com chicanas, foram observados em julho/06, quando variaram entre 0,22 e 0,32 m. Os maiores valores foram observados em setembro/05, quando variaram entre 0,49 e 0,86 m. Estes valores aumentaram do primeiro ao terceiro dia, e da entrada para a saída. Em janeiro/06, os valores estiveram entre 0,27 e 0,49 m e em abril/06, entre 0,32 e 0,54 m. Em abril/06, notou-se que os maiores valores estiveram na entrada da lagoa.

Figura 58 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na segunda lagoa facultativa com chicanas da ETE de Pariquera-Açu, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

- **ETE de Jacupiranga: Lagoa aerada**

Nas três primeiras coletas, a **temperatura** esteve homogênea na coluna de água da lagoa aerada, porém em julho/06, houve variação até 0,5 m, já que os aeradores não estavam funcionando (Figuras 59).

Em setembro/05, a temperatura esteve entre 22,8 °C e 23,4 °C. Em janeiro/06 e abril/06, os valores de temperatura foram maiores e estiveram entre 28,3 °C e 29,8 °C, em janeiro/06; e entre 27,8 °C e 28,3 °C, em abril/06. Em julho/06, estiveram entre 21,0 °C e 26,9 °C. Neste período, houve estratificação térmica e as variações de temperatura maiores que 0,6 °C ocorreram entre 0,0 m (23,6 °C) e 0,5 m (21,2 °C) ($\Delta = 2,4$ °C), no primeiro dia e foram maiores no terceiro entre 0,0 m (26,9 °C) e 0,4 m (21,8 °C) ($\Delta = 5,1$ °C).

As concentrações de **oxigênio dissolvido** na coluna de água da lagoa aerada não ultrapassaram 5,2 mg.L⁻¹ (Figura 59). Em setembro/05 e em janeiro/06, as concentrações de oxigênio dissolvido variaram na mesma faixa: 3,3 mg.L⁻¹ a 1,1 mg.L⁻¹, tendo sido maiores na superfície e menores no fundo. Em abril/06, a faixa de variação foi maior e esteve entre 5,2 mg.L⁻¹ e 1,1 mg.L⁻¹. Em julho/05, quando os aeradores não estavam funcionando, as concentrações foram menores que 1,0 mg.L⁻¹ principalmente no fundo.

A coluna de água permaneceu praticamente homogênea para **condutividade elétrica** em todos os dias amostrados, nos quatro meses estudados (Figura 60), assim como as concentrações de oxigênio dissolvido. Os valores de condutividade elétrica apresentaram pouca variação entre os dias e entre a primeira (setembro/05) e a segunda coleta (janeiro/06). Por outro lado, abril/06 foi o período em que foram registrados os menores valores de condutividade elétrica da água na lagoa aerada, assim como nas lagoas anaeróbias, enquanto que em julho/06, foram observados os maiores.

Diferentemente das lagoas anaeróbias, a faixa de variação observada em setembro/06 foi maior que em janeiro/06. Em setembro/06, a condutividade elétrica variou de $465 \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $510 \mu\text{S.cm}^{-1}$, enquanto que em janeiro/06 esteve entre $416 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $454 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Em abril/06, os valores foram um pouco maiores que os observados nas lagoas anaeróbias e estiveram entre $251 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $274 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Em julho/06, também houve diferença, sendo que o intervalo de valores observado foi maior que nas lagoas anaeróbias ($608 \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $686 \mu\text{S.cm}^{-1}$). Nesse período, a condutividade elétrica foi maior na superfície, assim como a temperatura e as concentrações de oxigênio dissolvido.

Em geral, os maiores valores de **pH** (Figura 60) foram observados na superfície da lagoa, assim como as concentrações de oxigênio dissolvido, e foram obtidos em abril/06, quando estiveram entre 7 e 8. Os menores foram observados em julho/06, quando estiveram entre 6 e 7. Em janeiro/06, a faixa de valores foi maior e estiveram entre 6 e 8.

Em janeiro/06, nos dois primeiros dias, os valores estiveram entre 7,3 (superfície) e 7,0 (fundo). No segundo dia, os valores estiveram mais baixos, entre 7,0 (superfície) e 6,8 (fundo). Em abril/06, quando houve os maiores valores, o intervalo ocorreu entre 7,9 e 7,1. E em julho/06, quando houve os menores valores, a faixa de variação esteve entre 6,8 e 6,6.

Conforme a Figura 61, os menores valores de **transparência da água**, na lagoa aerada, foram observados em julho/06, quando foi 0,22 m nas duas mensurações. Os maiores valores foram observados em setembro/05, quando variaram entre 0,81 e 1,35 m. Em janeiro/06, os valores estiveram entre 0,54 e 0,59 m, enquanto que em abril/06, entre 0,65 e 0,76 m.

Figura 59: Perfis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mgL^{-1}) lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e nas quatro épocas do ano.

Figura 60 - Perfis de pH e condutividade elétrica (μS.cm⁻¹) lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e nas quatro época do ano.

Figura 61 - Transparência da água (m) no meio da lagoa aerada da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

- **ETE de Jacupiranga: lagoa facultativa convencional**

Os perfis de **temperatura**, nos três pontos, em geral, não foram semelhantes na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, na maioria do período de amostragem, exceto no terceiro dia da coleta de janeiro/06. Além disso, as faixas de variação de temperatura, nos três pontos, foram diferentes (Figuras 62 a 63).

Em setembro/05, a variação de temperatura ocorreu entre 20,9 (1,3 m, 1º dia, entrada) e 25,9 °C (0,0 m, 3º dia, saída). Em janeiro/06, as temperaturas foram maiores e estiveram entre 27,6 (1,3 m, 1º e 2º dias, saída) e 32,4 °C (0,2 m, 1º dia, saída). Em abril/06, variaram entre 25,8 (1,3 m, 1º dia, saída; 1,3 m, 3º dia, meio e saída) e 30,4 °C (0,0 m, 1º dia, saída). Julho/06 foi o período em que o intervalo de temperatura foi maior e variou de 19,9 (1,3 m, 1º

dia, meio) a 30,4 °C (0,0 m, 2º dia, meio).

Em setembro/05, no primeiro e terceiro dias, profundidades com o mesmo comportamento de variação de temperatura puderam ser limitadas, nos três pontos de amostragem. A limitação da variação da temperatura de acordo com a profundidade (linha “L”) facilitou a interpretação da distribuição vertical de temperatura e definição das variações de temperatura.

No primeiro dia, neste período, houve a distribuição mais heterogênea entre as temperaturas dos três pontos e, por isso, foram definidos três limites, ou linhas (L1, L2 e L3). A maior variação ocorreu entre 0,4 m e 0,8 m (L2). Entre 0,0 m e 0,4 m (L1) e entre 0,8 m e 1,0 m (L3) foi observada homogeneidade nos três pontos. As maiores temperaturas foram observadas na saída (entre 22,7 °C e 20,9 °C), enquanto que as menores, na entrada desta lagoa (entre 24,7 °C e 21,2 °C).

Quanto aos gradientes observados entre L1 e L2, foram semelhantes ($\Delta = 1,1$ °C) e observados apenas na entrada e na saída. Na entrada, a variação de temperatura esteve entre 0,5 m (22,4 °C) e 0,8 m (21,3 °C). Na saída, a variação de temperatura foi localizada mais acima, entre 0,4 m (24,6 °C) e 0,6 m (23,5 °C).

No segundo dia, neste mesmo período, não houve semelhança de comportamento entre os três pontos e, por isso, não foram estabelecidos limites. Maiores variações de temperatura foram observadas na entrada e no meio ($\Delta = 1,9$ °C), porém na entrada, a variação de temperatura maior que 0,6 °C esteve entre 0,0 m (23,9 °C) e 1,0 m (22,0 °C) e no meio ocupou uma faixa menor, entre 0,5 m (23,7 °C) e 0,6 m (22,2 °C). Na saída, a variação de temperatura foi menor ($\Delta = 1,4$ °C) e foi observada até 0,5 m, variando de 24,1 °C (0,0 m) a 22,7 °C (0,5 m).

No terceiro dia, foram delimitados dois comportamentos de variação de temperatura, ambos com homogeneidade entre os pontos. O primeiro (L1) foi entre 0,1 m e 0,6 m e o

segundo, a partir de a partir de 0,6 m. Entre estes dois limites observou-se a variação de temperatura maior que 0,6 °C. Quanto às maiores variações, na saída foi observado entre 0,1 m (25,8 °C) e 0,3 m (23,3 °C) ($\Delta = 2,5$ °C); e no meio esteve mais abaixo, entre 0,4 m (25,9 °C) e 0,6 m (22,9 °C) ($\Delta = 3,0$ °C).

Em janeiro/06, as maiores temperaturas foram observadas, mas apenas dois comportamentos diferentes foram verificados, no primeiro e no segundo dia. Nestes dois dias, foi definida apenas uma linha limite (“L”). No terceiro dia, a coluna de água esteve homogênea e nenhuma linha foi definida.

No primeiro dia, as temperaturas variaram de maneira diferente de 0,0 m a 0,8 m e, a partir de então, o decréscimo foi semelhante. Até 0,8 m, variações maiores puderam ser observadas. Na entrada, houve a menor variação de temperatura ($\Delta = 1,2$ °C), entre 0,0 m (30,4 °C) e 0,3 m (29,2 °C). No meio, houve duas variações de temperatura iguais a 1,6 °C – entre 0,2 m (32,2 °C) e 0,3 m (30,6 °C) e entre 0,5 m (30,4 °C) e 0,7 m (28,8 °C). Na saída, a variação foi maior ($\Delta = 2,0$ °C) e esteve entre 0,2 m (32,4 °C) e 0,5 m (30,4 °C).

No segundo dia, homogeneidade foi observada entre 0,0 m e 0,2 m nos três pontos e após essa profundidade houve variação de temperatura. A partir de 0,2 m, na entrada foi observada a menor variação de temperatura ($\Delta = 0,6$ °C) que esteve entre 0,2 m (29,3 °C) e 0,4 m (28,7 °C). No meio, houve variação de temperatura de 1,1 °C, entre 0,5 m (29,4 °C) e 0,8 m (28,3 °C); e na saída, foi observada a maior variação ($\Delta = 1,2$ °C) entre 0,3 m (30,5 °C) e 0,5 m (29,3 °C).

No terceiro dia, quando houve homogeneidade na coluna de água, os perfis nos três pontos foram semelhantes e as temperaturas estiveram entre 28,4 °C (0,0 m, meio) e 27,9 °C (1,3 m, todos os pontos).

Em abril/06, foi observada diferença entre as mensurações de temperatura no primeiro dia em relação aos outros dois. No primeiro dia, os perfis dos três pontos variaram de maneira

diferente, sem semelhança até 1,0 m; dessa forma, foram delimitadas duas áreas (uma linha “L”). Nos outros dois dias, os três perfis estiveram homogêneos até determinada profundidade e variaram a partir de então; assim para esses dias, representadas duas linhas “L” para cada gráfico, as quais delimitaram a área em que houve variação de temperatura.

No primeiro dia, quando variação ocorreu até 1,0 m, na entrada, a maior variação de temperatura ($\Delta = 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi observada entre 0,1 m ($29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 1,0 m ($26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$); no meio, houve a maior variação ($\Delta = 3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), entre 0,3 m ($30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,6 m ($26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$); e na saída, a maior variação foi $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e esteve entre 0,5 m ($28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,7 m ($26,2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

No segundo e terceiro dias, não foi observada variação significativa da temperatura, na entrada. No meio, a maior variação foi observada no segundo dia ($\Delta = 2,4^{\circ}\text{C}$), entre 0,4 m ($28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,8 m ($26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$); no terceiro dia, a variação foi de $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, em um intervalo de profundidades menor, entre 0,3 m ($28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,5 m ($26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Na saída, a maior variação também foi observada no segundo dia ($\Delta = 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), entre 0,7 m ($29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 1,0 m ($26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$); no terceiro dia, a maior variação foi de $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, nas camadas superiores da coluna de água, entre 0,4 m ($29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,7 m ($26,2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Em julho/06, foram observadas três áreas de comportamentos diferentes, nos três dias e três pontos, dessa forma, para descrever o comportamento de temperatura nessa época do ano, foram utilizadas duas linhas “L” em cada gráfico. Na primeira área delimitada, nos três dias de coleta, houve maior variação de temperatura. Na segunda área, a variação foi menor e as temperaturas nos três pontos estiveram próximas. Na terceira área, houve homogeneidade de temperatura e semelhança entre os três pontos.

No primeiro dia, ocorreram as maiores variações de temperatura na entrada, entre 0,0 m ($29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta = 8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$); no meio, entre 0,0 m ($30,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta = 8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$); e na saída, entre 0,0 m ($28,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,3 m ($20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\Delta = 8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Na segunda área limitada, entre 0,3 m e 0,6 m, não houve variação de temperatura maior que

0,6 °C na saída; a maior variação foi observada no meio ($\Delta = 1,6$ °C).

No segundo dia, até 0,3 m, a menor variação foi observada na entrada ($\Delta = 4,1$ °C), entre 0,0 m (25,5 °C) e 0,3 m (21,4 °C); enquanto que a maior foi observada na saída ($\Delta = 9,4$ °C), entre 0,0 m (30,4 °C) e 0,3 m (21,0 °C). No meio, a variação foi de 5,6 °C, entre 0,0 m (27,3 °C) e 0,3 m (21,7 °C). Na segunda área limitada, entre 0,3 m e 0,7 m, as variações de temperatura estiveram entre 0,8 °C (saída) e 1,6 °C (meio).

Figura: 62 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 63 - Perfis de temperatura (°C) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

No terceiro dia, até 0,2 m, houve menores variações de temperatura que nos outros dias até 0,3 m. Variações iguais ($\Delta = 3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) foram observadas na entrada e na saída, entre 0,0 m (25,8 °C) e 0,2 m (22,5 °C), na entrada; e entre 0,0 m (26,1 °C) e 0,2 m (22,8 °C), na saída. No meio, a variação foi maior ($\Delta = 7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), entre 0,0 m (29,7 °C) e 0,2 m (22,6 °C). Entre 0,2 m e 0,8 m, as variações estiveram entre 2,1 °C (entrada e meio) e 2,4 °C (saída).

As mensurações das **temperaturas na coluna de água em 12 pontos** (Figura 64) foram feitas da saída da lagoa para o início, da mesma forma que a com chicanas. Porém, como esta mensuração foi realizada à tarde, a temperatura do ar e a radiação solar fotossinteticamente ativa diminuíram de 31,0 °C a 23,0 °C e de 1567 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a 710,5 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente (Tabela 34).

A temperatura média dos perfis também foi semelhante e entre 21,0 °C e 21,9 °C. Porém as termoclinas na entrada e saída da lagoa estiveram entre 6,60 °C e 9,33 °C, enquanto que no meio da lagoa foram maiores e entre 7,01 °C e 10,62 °C. Todas as termoclinas estiveram entre 0,0 m até no máximo 0,5 m.

Figura 64 – Pontos amostrados, na lagoa facultativa convencional, em julho/06.

Tabela 35 - Temperaturas médias na coluna de água, temperatura do ar, termoclinas, e radiação fotossinteticamente ativa, em 12 pontos, na lagoa facultativa convencional, em julho/06.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
média	21,0	21,6	21,9	21,5	21,8	21,7
radiação	1567	1253	1248	1150	1149	1107
termoclina (°C)	6,65	8,05	9,00	10,23	10,41	10,40
(m)	0,0-0,2	0,0-0,3	0,0-0,4	0,0-0,5	0,0-0,5	0,0-0,5
temperatura do ar	31	30,20	29,49	28,76	28,04	27,32

	P7	P8	P9	P10	P11	P12
média	21,7	21,7	21,5	21,4	21,5	21,3
radiação	1030	1026	1017	859	785	710,5
termoclina (°C)	10,62	9,89	7,01	9,33	9,00	6,60
(m)	0,0-0,5	0,0-0,5	0,0-0,5	0,0-0,5	0,0-0,5	0,0-0,5
temperatura do ar	26,60	25,88	25,16	24,44	23,72	23,00

Os perfis das **concentrações de oxigênio** dissolvido foram, em geral, maiores na saída e menores na entrada, exceto no segundo dia, em setembro/05; no primeiro dia, em abril/06 e no primeiro e terceiro dias, em julho/06 (Figuras 65 a 66).

Em setembro/05, os perfis de oxigênio foram semelhantes aos de temperatura, ou seja, menores concentrações na entrada, onde as temperaturas também foram menores; e maiores concentrações na saída, onde também foram verificados maiores valores de temperatura.

Menores concentrações, na entrada e no meio, foram observadas no primeiro dia, quando as concentrações na superfície foram 1,9 mg.L⁻¹, na entrada e 4,0 mg.L⁻¹, no meio. Na saída e nos três pontos, no segundo dia, as maiores concentrações (em geral, na superfície) estiveram entre 9,4 mg.L⁻¹ e 11,7 mg.L⁻¹. Nos dois primeiros dias, concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até profundidades entre 0,5 m e 1,0 m.

No terceiro dia, foram observadas as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, as

quais estiveram entre $13,7 \text{ mg.L}^{-1}$ e $16,1 \text{ mg.L}^{-1}$. Concentrações maiores que $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ foram observadas até no máximo $0,9 \text{ m}$.

Em janeiro/06, o oxigênio dissolvido apresentou-se homogeneamente distribuído apenas no terceiro dia, quando também foram observadas as menores concentrações. Nessa época do ano, foram observadas concentrações menores que no período anterior.

Figura 65 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 66 - Perfis de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Concentrações maiores que $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ foram observadas até o fundo da lagoa, para a maioria dos perfis, exceto na entrada, no terceiro dia, quando se estendeu até 0,7 m. No primeiro e segundo dias, as maiores concentrações estiveram entre $4,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) e $9,8 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída). No terceiro dia, ocorreram as menores concentrações e variaram de $1,9 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) a $4,6 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída).

Em abril/06, as concentrações de oxigênio foram maiores que no período anterior. As maiores concentrações variaram entre $14,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) e $16,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída), no primeiro dia; foram menores no segundo dia: entre $5,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (entrada) e $15,4 \text{ mg.L}^{-1}$ (saída). No

terceiro dia, estiveram entre 7,4 mg.L⁻¹ (entrada) e 21,0 mg.L⁻¹ (saída). As concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até no mínimo 0,6 m (3º dia, entrada) e no máximo 1,4 m (1º e 3º dias, saída).

Em julho/06, as concentrações de oxigênio apresentaram-se de forma heterogênea, na camada superficial (entre 0,2 e 0,4m) – exceto na entrada, no segundo dia – e homogênea a partir de 0,4 m. Nesse período, os perfis de oxigênio dissolvido foram diferentes das coletas anteriores, já que houve queda brusca nas concentrações até 0,4 m.

Concentrações maiores que 1,0 mg.L⁻¹ foram observadas até no máximo 0,7 m (1º dia, entrada; 2º dia, meio) e no mínimo não foi observada (2º dia, entrada). No primeiro dia, foram observadas as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, que estiveram entre 8,5 mg.L⁻¹ (saída) e 22,4 mg.L⁻¹ (entrada). No segundo dia, as maiores concentrações estiveram entre 0,5 mg.L⁻¹ (entrada) e 18,9 mg.L⁻¹ (saída). No terceiro dia, a faixa das concentrações de oxigênio dissolvido foi menor e esteve entre 3,7 mg.L⁻¹ (saída) e 14,5 mg.L⁻¹ (meio).

Várias semelhanças entre o padrão para os valores de **pH** e as concentrações de oxigênio dissolvido foram verificadas, tais como: maiores valores na saída e menores no fundo (exceto no primeiro dia em abril/06), os valores foram maiores em abril/06 e em julho/06, os valores foram maiores na superfície, e a partir de determinada profundidade houve homogeneidade.

Em todas os perfis (Figuras 67 e 68), os maiores valores de pH foram observados nas camadas superficiais e os menores, no fundo. Em janeiro/06, os valores de pH estiveram entre 7 e 9. Em abril/06, a faixa de valores foi maior, entre 7 e 10. Em julho/06, os perfis alcançaram menores valores e estiveram entre 6 e 9.

Em janeiro/06, a menor variação ocorreu no terceiro dia, da mesma forma que ocorreu com as concentrações de oxigênio dissolvido e com os valores de temperatura. A maior

variação ocorreu na entrada, entre 0,8 m e 1,0 m, onde os valores de pH foram 7,6 e 7,3, respectivamente; e a menor foi observada o meio, quando os valores de pH na coluna de água estiveram entre 7,4 e 7,3.

No primeiro dia, as menores variações estiveram na entrada e ocorreram entre 0,3 m e 0,9 m, sendo que o pH foi 7,5 e 7,4, respectivamente. As maiores foram observadas na saída, entre 0,3 m e 0,9 m, onde os valores de pH foram 8,6 e 7,7, respectivamente. No segundo dia, a faixa de variações foi menor, sendo que a menor variação ocorreu na entrada, entre 0,3 m e 0,9 m, onde os valores de pH foram 7,7 e 7,4, respectivamente; e a maior variação ocorreu na saída, entre 0,3 m e 0,9 m, onde os valores de pH foram 8,6 e 7,7, respectivamente.

Figura 67 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em janeiro/06 e abril/06.

Figura 68 - Perfis de pH em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em julho/06.

Em abril/06, as maiores variações ocorreram entre 0,3 m e 1,0 m. As maiores variações ocorreram no primeiro dia, sendo que a menor foi observada na entrada, entre 0,3 m e 1,0 m, onde os valores de pH foram 9,2 e 8,3, respectivamente; e a maior, no meio, entre 0,3 m e 1,0 m, onde os valores de pH foram 9,6 e 8,1, respectivamente. A menor faixa de variação foi observada no segundo dia, sendo que a menor variação ocorreu na entrada, entre 0,3 m e 1,0 m, onde os valores de pH foram 7,8 e 7,5, respectivamente; e a maior variação foi observada no meio e saída, entre 0,3 m e 1,0 m, sendo que os valores de pH no meio foram 7,8 e 7,5, respectivamente, enquanto que na saída foram 9,2 e 8,1, respectivamente.

E em julho/06, as maiores variações ocorreram até no máximo 0,3 m. No primeiro dia ocorreram as maiores variações, sendo que a menor variação ocorreu na saída, entre 0,0 m e 0,2 m, onde os valores de pH foram 7,4 e 6,9, respectivamente; e a maior variação esteve entre 0,0 m e 0,2 m, onde os valores de pH foram 8,8 e 7,1, respectivamente. No terceiro dia, foi observada a menor faixa de variação, sendo que a menor variação esteve na entrada, entre 0,0 m e 0,2 m, onde os valores de pH foram 7,4 e 6,9, respectivamente; e a maior variação

ocorreu no meio, entre 0,0 m e 0,2 m, onde os valores de pH foram 8,4 e 7,1, respectivamente. E no segundo dia, foi observada a maior faixa de variação, sendo que a menor variação ocorreu na entrada, entre 0,0 m e 0,3 m, onde os valores de pH foram 7,4 e 7,1, respectivamente; e a maior ocorreu na saída, entre 0,0 m e 0,3 m, onde os valores de pH foram 8,7 e 7,0, respectivamente.

Os perfis de **condutividade elétrica** nos três pontos e nas quatro coletas foram semelhantes. Assim como ocorreu com a condutividade elétrica na lagoa aerada, na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, os valores desta variável estiveram entre 400 e 500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, em setembro/05 e janeiro/06. Em abril/06, a condutividade elétrica foi menor, variando entre 100 e 300 $\mu\text{S.cm}^{-1}$; e em julho/06 foi maior variando entre 500 e 700 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (Figuras 69 e 70).

Em geral, a coluna de água apresentou distribuição homogênea. Porém, em alguns perfis foram observadas condutividades elétricas maiores no fundo: em setembro/06, nos três dias e pontos; em janeiro/06, no primeiro dia, nos três pontos e no segundo, na saída; em abril/06 no primeiro dia, em todos os pontos. A maior variação na coluna de água ocorreu em julho/06, quando valores aumentaram até aproximadamente 0,1 m e reduziram a partir de então, em todos os dias, exceto na entrada, no primeiro dia.

Em setembro/05, os menores valores foram observados no primeiro dia e estiveram entre 422 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, entre 0,8 e 0,9 m) e 439 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, a 0,0 m). No fundo, nos três pontos coletados, os valores atingiram máximo de 467 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (no meio e saída da lagoa). Nos outros dois dias, as faixas de valores foram semelhantes e ficaram entre 430 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, entre 0,7 e 1,0 m) e 444 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, a 0,8 m). No fundo, em todos os perfis, os valores aumentaram para no máximo 554 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada), no segundo dia; e 491 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio), no terceiro dia.

Em janeiro/06, os menores valores foram observados no terceiro dia, entre 419 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

¹ (saída, a 0,0 m) e $432 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, entre 0,1 e 1,0 m; e saída, entre 0,0 e 0,2 m e entre 0,9 e 1,3 m). Os maiores valores foram observados no primeiro dia, entre $452 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, a 0,0 m) e $473 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, a 1,0 m). Não houve aumento da condutividade elétrica nas camadas inferiores no terceiro dia, em todos os pontos dentro da lagoa; e no segundo dia, na entrada e no meio da lagoa. O maior valor, nas camadas inferiores, ocorreu no segundo dia, na saída, e foi $568 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Figura 69 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em setembro/05 e janeiro/06.

Figura 70 - Perfis de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) – na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos: 1º, 2º e 3º dias, da esquerda para a direita, em abril/06 e julho/06.

Em abril/06, os menores valores foram observados no primeiro dia, variando, entre $195 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, a 0,1 m e 0,3 m) e $215 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, a 0,6 m). Apenas nesse dia houve aumento dos valores nas camadas inferiores, tendo aumentado para no máximo $322 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada) e no mínimo $252 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio). A maior faixa de valores ocorreu no terceiro dia, entre $115 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, a 0,0 m) e $229 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, a 1,3 m).

Em julho/06, a maior faixa de valores foi observada no primeiro dia, entre $532 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (entrada, a 0,0 m) e $609 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, a 0,0 m), enquanto que a menor faixa foi observada

no terceiro dia, entre $541 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, a 1,0 m) e $602 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, a 0,1 m). Os maiores valores, nos três pontos e nos três dias, foram observados até no máximo 0,2 m, variando entre $586 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (meio, no segundo dia) e $609 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (saída, no primeiro dia). Ou seja, não foi observado aumento da condutividade elétrica nas camadas inferiores, exceto na entrada, no primeiro dia.

Conforme a Figura 71, os menores valores de **transparência da água** na lagoa facultativa convencional foram observados em julho/06, quando variaram entre 0,14 e 0,27 m. Os maiores valores foram observados em setembro/05, quando estiveram entre 0,81 e 1,22 m. Em janeiro/06, os valores variaram entre 0,49 e 0,59 m, enquanto que em abril/06 o intervalo foi maior e entre 0,49 e 0,65 m.

Figura 71 - Transparência da água (m) em três pontos – entrada (E), meio (M) e saída (S) - na lagoa facultativa convencional da ETE de Jacupiranga, em três dias consecutivos e em quatro épocas do ano.

5.4. Variáveis determinantes da eficiência dos sistemas: clorofila *a*, DQO, sólidos suspensos, formas nitrogenadas, forma fosfatada, formas de carbono e alcalinidade

De maneira geral, os dois sistemas apresentaram aumento na concentração de **clorofila *a*** ao longo dos compartimentos, sendo que as concentrações no efluente final foram, via de regra, maiores na ETE de Pariquera-Açu, exceto em julho/06, ao comparar quatro épocas do ano e os dois sistemas (Figura 72).

A concentração média de clorofila *a* encontrada na entrada da ETE de Pariquera-Açu variou de 1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (abril/06) a 9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho/06). Na ETE de Jacupiranga, o intervalo de concentração média foi de 0,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro/05) a 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (abril/06 e julho/06).

Tanto a lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), quanto as anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) geraram clorofila *a*, sendo que as maiores concentrações ocorreram em janeiro/06. As concentrações médias que saíram de cada lagoa, nessa época do ano, foram: 227 $\mu\text{g.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias; e 169 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na lagoa aerada. As menores concentrações na saída coincidiram com a época em que os aeradores não estavam funcionando, ou seja, em julho/06. Neste período, saiu 3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de clorofila *a* das lagoas anaeróbias e 29 $\mu\text{g.L}^{-1}$, da aerada. Nas demais épocas do ano saíram 93 $\mu\text{g.L}^{-1}$, das lagoas anaeróbias e 110 $\mu\text{g.L}^{-1}$, da aerada, em setembro/05; e 176 $\mu\text{g.L}^{-1}$, das lagoas anaeróbias e 109 $\mu\text{g.L}^{-1}$, da lagoa aerada, em abril/06.

Na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), a menor concentração média foi gerada em setembro/05 (230 $\mu\text{g.L}^{-1}$). A maior concentração média ocorreu em abril/06 (531 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Nas outras épocas do ano, as concentrações que saíram foram 508 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em janeiro/06; e 522 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em julho/06. Nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), as menores concentrações ocorreram em julho/06 (138 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 191 $\mu\text{g.L}^{-1}$,

nas lagoas 1 e 2, respectivamente), enquanto que as maiores em janeiro/06 ($693 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $603 \mu\text{g.L}^{-1}$, nas lagoas 1 e 2, respectivamente). Nas outras épocas do ano esteve entre em torno de $400 \mu\text{g.L}^{-1}$, em setembro/05, nas duas lagoas e de $500 \mu\text{g.L}^{-1}$, em abril/06, nas duas lagoas.

No tanque de cloração (ETE de Jacupiranga), houve aumento das concentrações médias de clorofila *a* na maioria das épocas do ano, exceto em abril/06. As concentrações que saíram do tanque estiveram entre $389 \mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro/05) e $587 \mu\text{g.L}^{-1}$ (julho/06).

As lagoas anaeróbias e a lagoa aerada geraram menores concentrações de clorofila *a* que as facultativas. Assim, pôde-se observar que a lagoa aerada, embora aeróbia, não gerou clorofila *a* como as facultativas convencional e com chicanas.

Valores semelhantes de **DQO** no efluente final entre os dois sistemas foram verificados, de maneira que os menores valores ocorreram em setembro/05 (em torno de $20 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$), nos dois sistemas, enquanto que os maiores em janeiro/06 (em torno de $100 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$), nos dois sistemas (Figura 73).

Na entrada dos dois sistemas, os valores médios de DQO foram semelhantes entre si em janeiro/06 ($142 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e $134 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na de Jacupiranga) e abril/06 ($56 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e $68 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na de Jacupiranga). Em setembro/05, a DQO na entrada do sistema foi maior na ETE de Jacupiranga se comparada à de Pariquera-Açu ($170 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e $324 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na de Jacupiranga). O contrário foi verificado em julho/06 ($123 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e $43 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, na de Jacupiranga).

Não houve semelhança em uma mesma época do ano entre a DQO que saiu das lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) e aerada (ETE de Jacupiranga). Nas lagoas anaeróbias, os menores valores de DQO na saída foram observados em setembro/06 ($32 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$) e em abril/06 ($44 \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$), quando também foram menores os valores do afluente bruto. Por

outro lado, os maiores valores de DQO foram obtidos em janeiro/06 ($88 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$) e julho/06 ($77 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$), quando também foram elevados os valores no afluente bruto.

O menor valor desta variável, na saída da lagoa aerada, foi observado em julho/06 ($48 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$), quando também foi menor na entrada e os aeradores não estavam funcionando; e o maior ocorreu em janeiro/06 ($100 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$), quando entrou o segundo maior valor de DQO. Em abril/06, o valor foi $77 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$.

Em geral, tanto na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), quanto nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu) houve diminuição de DQO, exceto em janeiro/06 (nas três lagoas), em abril/06 (lagoa facultativa com chicanas 2) e julho/06 (lagoa facultativa com chicanas 1). Na facultativa convencional, maiores valores ocorreram em janeiro/06 ($107 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$); nas outras épocas do ano os valores foram semelhantes e estiveram entre $34 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ e $36 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$.

Nas lagoas facultativas com chicanas, o intervalo de valores foi maior. Os menores valores foram observados na saída da segunda lagoa facultativa, exceto em abril/06 ($56 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ – SF2 e $40 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ – SF1). Nas duas lagoas, os maiores valores foram observados em janeiro/06 ($114 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ SF2 – $123 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ – SF1), enquanto que os menores, em setembro/06 ($24 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ SF2 – $25 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ SF1).

No tanque de cloração (ETE de Jacupiranga), houve diminuição da DQO em setembro/05 e janeiro/06, enquanto que em abril e julho/06, houve aumento. Os valores de DQO variaram de $21 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ (setembro/06) a $93 \text{ mgO}_2\text{.L}^{-1}$ (janeiro/06), época em que entraram maiores DQOs no tanque.

Figura 72 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de clorofila ($\mu\text{g.L}^{-1}$), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (M2), n:2, set/05. (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 73 - Demanda Química de Oxigênio ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$) média e desvio-padrão ($n: 3$), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com cícnias (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, $n:2$; (M1), $n:2$; (SF1), $n:1$, sem desvio padrão; (SF2), $n:1$, sem desvio padrão, em abr/06.

Nas quatro coletas, pôde-se observar que a maior redução de **sólidos suspensos orgânicos (SSO)**, **inorgânicos (SSI)**, e conseqüentemente **totais (SST)**, ocorreu nas lagoas anaeróbias e aerada, como era esperado (Figuras 74 a 76). Porém as lagoas facultativas geraram sólidos de forma que o efluente final foi composto por concentrações de SSO entre 34 mg.L^{-1} e 70 mg.L^{-1} , nas três lagoas; de SSI entre 0 mg.L^{-1} e 8 mg.L^{-1} ; e de SST entre 35 mg.L^{-1} e 74 mg.L^{-1} . Em geral, menores concentrações de sólidos foram observadas no efluente final da ETE de Jacupiranga, exceto em julho/06.

Na ETE de Pariquera-Açu, em geral, entraram menores concentrações de SSO, exceto em abril/06, se comparada à ETE de Jacupiranga. As concentrações de SSO, na entrada da ETE de Pariquera-Açu variaram entre 90 mg.L^{-1} (setembro/05) e 132 mg.L^{-1} (julho/06), enquanto que na ETE de Jacupiranga, essas concentrações estiveram entre 114 mg.L^{-1} (abril/06) e 153 mg.L^{-1} (setembro/05).

Em geral, maiores concentrações de SSO foram observadas na saída da lagoa aerada (ETE de Pariquera-Açu) exceto em setembro/06. As menores concentrações de SSO, na saída das três lagoas, foram observadas em setembro/05, diferentemente da época em que foram observadas as menores concentrações de clorofila. Neste período, a concentração de SSO foi de 24 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias (ETE de Jacupiranga), e de 22 mg.L^{-1} , na lagoa aerada. As maiores concentrações ocorreram em julho/06 e foram 47 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias e 62 mg.L^{-1} , na aerada. Nas outras épocas do ano estiveram entre 30 mg.L^{-1} (saída das anaeróbias, em janeiro/06 e abril/06) e 41 mg.L^{-1} (saída da aerada, em janeiro/06).

Nas lagoas facultativas houve aumento nas concentrações de SSO, assim como aumentaram as concentrações de clorofila. As menores concentrações destas variáveis foram observadas em setembro/05, nas três lagoas, assim como as menores concentrações de clorofila. Neste período, as concentrações de SSO nestas lagoas foram de 39 mg.L^{-1} , na SF1; 37 mg.L^{-1} , na SF2; e 29 mg.L^{-1} na SF.

As maiores concentrações de SSO nas lagoas facultativas ocorreram em épocas diferentes para cada sistema, sendo que nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu) foram maiores em janeiro/06, época em que também foram observadas as maiores concentrações de clorofila *a*. Na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga) as concentrações foram maiores em julho/06. Em janeiro/06, as concentrações de sólidos suspensos orgânicos foram 70 mg.L⁻¹, na SF1; 61 mg.L⁻¹, na SF2; e 57 mg.L⁻¹, na SF. Em julho/06, as concentrações de sólidos suspensos orgânicos foram 47 mg.L⁻¹, na SF1; 55 mg.L⁻¹, na SF2; e 70 mg.L⁻¹, na SF.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), em geral, houve diminuição de SSO, exceto em setembro/06. Neste compartimento, as concentrações estiveram entre 34 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 67 mg.L⁻¹ (julho/06).

As concentrações de SST, na entrada da ETE de Pariquera-Açu, variaram entre 130 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 169 mg.L⁻¹ (janeiro/06), enquanto que em Jacupiranga estiveram entre 145 mg.L⁻¹ (abril/06) e 173 mg.L⁻¹ (setembro/05).

As menores concentrações de SST, na saída dessas três lagoas, foram observadas em setembro/05, assim como as de SSO. Neste período, a concentração de SST foi de 34 mg.L⁻¹, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), e 23 mg.L⁻¹, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga). As maiores concentrações SST, nas três lagoas, foram observadas em julho/06, assim como as de SSO, e iguais a 56 mg.L⁻¹, nas lagoas anaeróbias e 71 mg.L⁻¹, na lagoa aerada.

Nas lagoas facultativas houve aumento nas concentrações SST, assim como as de SSO. As menores concentrações foram observadas em setembro/05, nas três lagoas, assim como as de SSO. Neste período, as concentrações de SST foram de 40 mg.L⁻¹, na SF1; 42 mg.L⁻¹, na SF2; e 30 mg.L⁻¹, na SF. As maiores concentrações de sólidos suspensos totais nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu) foram maiores em janeiro/06,

enquanto que na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), em julho/06. Em janeiro/06, as concentrações de SST foram 74 mg.L⁻¹, na SF1; 70 mg.L⁻¹, na SF2; e 67 mg.L⁻¹, na SF. Em julho/06, foram 53 mg.L⁻¹, na SF1; 60 mg.L⁻¹, na SF2; e 77 mg.L⁻¹, na SF.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), em geral, houve diminuição de SST, exceto em setembro/05. As concentrações estiveram entre 36 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 74 mg.L⁻¹ (julho/06).

Na ETE de Pariquera-Açu, em geral, entraram maiores concentrações de sólidos suspensos inorgânicos (SSI), em todas as coletas, se comparada à ETE de Jacupiranga. As concentrações de SSI, na entrada da ETE de Pariquera-Açu, variaram entre 34 mg.L⁻¹ (julho/06) e 75 mg.L⁻¹ (janeiro/06), enquanto que na ETE de Jacupiranga estiveram entre 20 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 32 mg.L⁻¹ (janeiro/06).

As concentrações de SSI, em geral, foram maiores na saída das lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), exceto em julho/06. As concentrações variaram entre 4 mg.L⁻¹ (abril/06) e 16 mg.L⁻¹ (janeiro/06), nas lagoas anaeróbias; e entre 1 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 10 mg.L⁻¹ (janeiro/06), na aerada (ETE de Jacupiranga).

Nas lagoas facultativas, em geral, as concentrações de SSI foram maiores na saída da facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), exceto em setembro/05. Estas concentrações estiveram entre 1 mg.L⁻¹ (abril/06, na SF1) e 8 mg.L⁻¹ (janeiro/06, na SF2), nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu); e entre 1 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 10 mg.L⁻¹ (janeiro/06), na convencional.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), em geral, houve diminuição desta variável, exceto em setembro/06. As concentrações estiveram entre 0 mg.L⁻¹ (abril/06) e 7 mg.L⁻¹ (julho/06).

Figura 74 - Sólidos suspensos orgânicos (SSO) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 75 - Sólidos suspensos totais (SST) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 76 - Sólidos suspensos inorgânicos (SSi) médio e desvio-padrão (n: 3), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Paríquera-Água, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Nos dois sistemas, as concentrações de **nitrogênio total Kjeldahl** no efluente final foram maiores em julho/06 e em torno de 30 mg.L^{-1} . Nas outras épocas do ano estiveram em torno de 10 mg.L^{-1} a 20 mg.L^{-1} . Maiores concentrações ocorreram no efluente final da ETE de Jacupiranga, em todas as épocas do ano (Figura 77).

Comparando os dois sistemas, a concentração de nitrogênio total Kjeldahl no afluente bruto foi maior na ETE de Jacupiranga em setembro/05 (50 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 30 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu) e em abril/06 (34 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 25 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu). Nos meses de janeiro/06 e julho/06 isto se inverteu, com as concentrações sendo maiores na ETE de Pariquera-Açu (24 e 30 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 26 e 45 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu, em janeiro/06 e julho/06, respectivamente).

Na ETE de Pariquera-Açu, maiores concentrações entraram em julho/06 (45 mg.L^{-1}); nas outras épocas do ano variaram entre 25 mg.L^{-1} (abril/06) e 30 mg.L^{-1} (setembro/06). Na ETE de Jacupiranga, maiores concentrações entraram em setembro/05 (50 mg.L^{-1}); nas outras épocas do ano variaram entre 24 mg.L^{-1} (janeiro/06) e 34 mg.L^{-1} (abril/06).

Tanto na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), quanto nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), houve redução de nitrogênio total, exceto em julho/06, na lagoa aerada, quando as concentrações aumentaram. Maiores concentrações de nitrogênio total saíram da lagoa aerada em setembro/05, janeiro/06 e abril/06. Quanto ao período sazonal, maiores concentrações foram observadas em julho/06 (32 mg.L^{-1} , nas duas lagoas). Nas outras épocas do ano, na saída das lagoas anaeróbias, as concentrações variaram entre 16 mg.L^{-1} (abril/06) e 17 mg.L^{-1} (setembro/05 e janeiro/06). Na saída da lagoa aerada, variaram entre 18 mg.L^{-1} (janeiro/06) e 23 mg.L^{-1} (abril/06).

Em geral, houve semelhança entre as concentrações de nitrogênio total na saída das lagoas facultativas e na saída das lagoas anaeróbias e aerada, exceto em abril/06, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga). Nesta lagoa, em abril/06, a redução desta

variável foi alta e a concentração na saída foi de 15 mg.L^{-1} . Maiores concentrações foram observadas em julho/06 (32 mg.L^{-1} SF, 30 mg.L^{-1} SF2 e 29 mg.L^{-1} SF1). Na primeira lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), nas outras épocas do ano, as concentrações de nitrogênio total variaram entre 15 mg.L^{-1} e 16 mg.L^{-1} . Na segunda lagoa, a variação foi maior e as concentrações estiveram entre 13 mg.L^{-1} (abril/06) e 17 mg.L^{-1} (setembro/05). Na lagoa facultativa convencional, as concentrações foram maiores, entre 18 mg.L^{-1} (setembro/06) e 19 mg.L^{-1} (janeiro/06).

No tanque de cloração (ETE de Jacupiranga), essa maior concentração foi observada em julho/06 (34 mg.L^{-1}), como nas outras lagoas dos dois sistemas. Nas outras épocas do ano, as concentrações estiveram entre 16 mg.L^{-1} (abril/06) e 18 mg.L^{-1} (setembro/05 e janeiro/06).

Nos dois sistemas, as maiores concentrações de **nitrogênio amoniacal** ocorreram em julho/06 (em torno de 25 mg.L^{-1}). Nas outras épocas do ano estiveram entre 10 mg.L^{-1} e 15 mg.L^{-1} , nos dois sistemas. Em geral, maiores concentrações foram observadas no efluente final da ETE de Jacupiranga, exceto em julho/06 (Figura 78).

Comparando os dois sistemas, assim como ocorreu com as concentrações de nitrogênio total Kjeldhal, a concentração de nitrogênio amoniacal no afluente bruto foi maior na ETE de Jacupiranga em setembro/05 (32 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 19 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu) e em abril/06 (23 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 17 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu). Nos meses de janeiro/06 e julho/06 isto se inverteu, com as concentrações sendo maiores na ETE de Pariquera-Açu (18 e 26 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; 19 e 39 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu, em janeiro/06 e julho/06, respectivamente).

Na ETE de Pariquera-Açu, as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal entraram em julho/06 (39 mg.L^{-1}); nas outras épocas do ano, as concentrações estiveram entre 17 mg.L^{-1} e 19 mg.L^{-1} . Na ETE de Jacupiranga, maiores concentrações entraram em setembro/05 (32 mg.L^{-1}); nas outras épocas do ano, as concentrações estiveram entre 18 mg.L^{-1}

¹ (janeiro/06) e 26 mg.L⁻¹ (julho/06).

Tanto nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), quanto na aerada (ETE de Jacupiranga), houve redução de nitrogênio amoniacal, exceto em julho/06, na lagoa aerada (quando os aeradores não estavam funcionando). As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal, nas saídas dessas lagoas, foram observadas em julho/06 e estiveram entre 33 mg.L⁻¹, nas anaeróbias e 30 mg.L⁻¹, na aerada. Nas outras épocas do ano, os limites de concentrações na saída das lagoas anaeróbias foram de 13 mg.L⁻¹ (setembro/05 e abril/06) e 14 mg.L⁻¹ (janeiro/06). Na lagoa aerada, estes limites estiveram entre 13 mg.L⁻¹ (janeiro/06) e 17 mg.L⁻¹ (setembro/05 e abril/06).

Nas duas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu) e na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), houve redução nas concentrações de nitrogênio amoniacal. Maiores concentrações desta variável, como nas lagoas anteriores, foram observadas em julho/06 (27 mg.L⁻¹ na SF1, 23 mg.L⁻¹ na SF2 e 25 mg.L⁻¹ na SF). Nas outras épocas do ano, nas lagoas facultativas com chicanas, as concentrações variaram entre 9 mg.L⁻¹ (SF1, em janeiro/06 e abril/06; e SF2, em abril/06) e 12 mg.L⁻¹ (duas lagoas, em setembro/05), sendo que foram semelhantes, nas duas lagoas, em setembro/06 e abril/06, enquanto que em janeiro/06 foram maiores na SF2. Na lagoa facultativa convencional, nas outras épocas do ano, as concentrações foram maiores e variaram entre 11 mg.L⁻¹ (abril/06) e 14 mg.L⁻¹ (setembro/05).

Na saída do tanque de cloração (ETE de Jacupiranga), as concentrações desta variável foram semelhantes às que saíram da lagoa anterior (facultativa convencional), sendo que foram maiores em julho/06 (25 mg.L⁻¹) e nas outras épocas do ano variaram entre 10 mg.L⁻¹ (abril/06) e 14 mg.L⁻¹ (setembro/05).

Figura 77 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrogênio total (mg.L^{-1}), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbia (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com ciliacas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Paríquera-Águ, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 78 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrogênio amoniacal (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

O efluente final da ETE de Jacupiranga obteve maiores concentrações de **nitrito**, em todas as épocas do ano entre $11\mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro/05) e $137\mu\text{g.L}^{-1}$ (abril/06). Na ETE de Pariquera-Açu, o efluente final foi composto por $3\mu\text{g.L}^{-1}$ (janeiro/06, SF2) a $18\mu\text{g.L}^{-1}$ (abril/06, SF2) de nitrito. As maiores concentrações foram observadas em abril/06, nos dois sistemas (Figura 79).

Comparando os dois sistemas, maiores concentrações de nitrito entraram na ETE de Jacupiranga. As maiores concentrações entraram em julho/06, como as de nitrogênio total e amoniacal descritas anteriormente, tendo sido de $16\mu\text{g.L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e $23\mu\text{g.L}^{-1}$ na ETE de Jacupiranga. Nas outras épocas do ano, as concentrações variaram entre $8\mu\text{g.L}^{-1}$ e $9\mu\text{g.L}^{-1}$, na ETE de Pariquera-Açu e entre $10\mu\text{g.L}^{-1}$ e $13\mu\text{g.L}^{-1}$, na ETE de Jacupiranga.

Nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), houve redução das concentrações de nitrito, sendo que variaram entre $3\mu\text{g.L}^{-1}$ e $6\mu\text{g.L}^{-1}$. Na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), houve aumento em janeiro/06 e abril/06. O intervalo de variação foi de $9\mu\text{g.L}^{-1}$ a $18\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nas lagoas facultativas, as maiores concentrações foram observadas na lagoa convencional (ETE de Jacupiranga). Nessa lagoas, a menor concentração foi observada em setembro/05 ($9\mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto que a maior em abril/06 ($41\mu\text{g.L}^{-1}$). Nas outras épocas do ano, as concentrações foram de $27\mu\text{g.L}^{-1}$, em janeiro/06 e $19\mu\text{g.L}^{-1}$, em julho/06.

Nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), maiores concentrações desta variável foram observadas na segunda lagoa, se comparada a primeira, em setembro/06 ($5\mu\text{g.L}^{-1}$ SF1 e $7\mu\text{g.L}^{-1}$ SF2) e abril/06 ($8\mu\text{g.L}^{-1}$ SF1 e $18\mu\text{g.L}^{-1}$ SF2). Por outro lado, em janeiro/06 ($5\mu\text{g.L}^{-1}$ SF1 e $3\mu\text{g.L}^{-1}$ SF2) e julho/06 ($6\mu\text{g.L}^{-1}$ SF1 e $5\mu\text{g.L}^{-1}$ SF2) as maiores concentrações observadas na primeira lagoa facultativa.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), houve aumento das concentrações de nitrito em setembro/05 e em abril/06. As concentrações, nesse

compartimento, variaram entre 11 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro/05) e 137 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (abril/06).

Figura 79 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Nos dois sistemas, as menores concentrações de **nitrato** no efluente final foram observadas em setembro/05 (em torno de 10 mg.L^{-1}), enquanto que as maiores em julho/06 (em torno de 80 mg.L^{-1}). Em geral, as menores concentrações efluentes foram observadas na ETE de Jacupiranga, exceto em janeiro/06 (Figura 80).

Maiores concentrações de nitrato entraram no sistema de Pariquera-Açu, se comparadas ao sistema de Jacupiranga, exceto em setembro/06. A faixa de variação que entrou na ETE de Pariquera-Açu foi de $0,19 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/05) a $1,6 \text{ mg.L}^{-1}$ (julho/06). Na ETE de Jacupiranga, o intervalo de variação, na entrada, foi de $0,24 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/05) e $0,95 \text{ mg.L}^{-1}$ (julho/06).

Nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) e a aerada (ETE de Jacupiranga), houve redução de nitrato. As maiores concentrações na saída dessas lagoas, para uma mesma época do ano, foram observadas nas lagoas anaeróbias. Assim como para os nutrientes descritos anteriormente, as maiores concentrações foram observadas em julho/06, nas três lagoas ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias; e $0,75 \text{ mg.L}^{-1}$, na lagoa aerada). Quanto às menores, estas foram observadas em setembro/06 ($0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias; e $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$, na lagoa aerada). Nas outras épocas do ano, as concentrações de nitrato variaram entre $0,54 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,61 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias; e entre $0,49 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,57 \text{ mg.L}^{-1}$, na lagoa aerada.

Na lagoa facultativa convencional, houve aumento das concentrações de nitrato. Por outro lado e de forma geral, nas lagoas facultativas com chicanas, houve diminuição desta variável, exceto em setembro/05 (SF2) e janeiro/06 (SF1). Como nas lagoas anaeróbias e na aerada, as maiores concentrações desta variável foram observadas em julho/06 ($0,80 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF1 e SF2; e $0,81 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF), enquanto que as menores em setembro/06 ($0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF1; $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ na SF2; e $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF). Nas outras épocas do ano, as concentrações variaram entre $0,53 \text{ mg.L}^{-1}$ (SF1, em abril/06) e $0,69 \text{ mg.L}^{-1}$ (SF1, em

janeiro/06), nas lagoas facultativas com chicanas; e $0,54 \text{ mg.L}^{-1}$ (abril/06) e $0,79 \text{ mg.L}^{-1}$ (janeiro/06), na facultativa convencional.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), houve diminuição das concentrações de nitrato. A faixa de variação destas concentrações foi $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/05) a $0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ (julho/06).

Nos dois sistemas, as maiores concentrações de **fósforo total** no efluente final foram observadas em julho/06 (entre $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF e $4,2$, na SF2). Nas outras épocas do ano, nos dois sistemas, estiveram entre $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 81).

Em geral, maiores concentrações de fósforo total entraram na ETE de Jacupiranga, exceto em julho/06, se comparada à ETE de Pariquera-Açu. Na ETE de Pariquera-Açu, as concentrações na entrada do sistema variaram entre $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (abril/06) e $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (julho/06). Na ETE de Jacupiranga, a faixa de valores foi menor e esteve entre $3,4 \text{ mg.L}^{-1}$ (janeiro/06) e $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/05).

Tanto nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), quanto na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), houve redução desta variável. Apenas em abril/06, a concentração na saída da lagoa aerada foi maior que nas lagoas anaeróbias. Nas lagoas anaeróbias, as maiores concentrações foram observadas em julho/06, assim como as formas nitrogenadas, descritas anteriormente, sendo de $4,5 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias; e $2,8 \text{ mg.L}^{-1}$, na lagoa aerada. Nas outras épocas do ano, nas lagoas anaeróbias, as concentrações variaram entre $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ (abril/06) e $1,9 \text{ mg.L}^{-1}$ (janeiro/06). Na lagoa aerada, as concentrações foram maiores e estiverem entre $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (janeiro/06) e $2,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (abril/06).

Nas lagoas facultativas, em geral, houve aumento nas concentrações desta variável, exceto em julho/06, quando houve diminuição. Maiores concentrações, como para os nutrientes descritos anteriormente, foram observadas em julho/06 ($4,4 \text{ mg.L}^{-1}$ na SF1; $4,2 \text{ mg.L}^{-1}$ na SF1 e $2,4 \text{ mg.L}^{-1}$ na SF). As concentrações nas duas lagoas facultativas com

chicanas (ETE de Pariquera-Açu) foram semelhantes em setembro/05 ($1,8 \text{ mg.L}^{-1}$, nas duas lagoas) em janeiro/06 ($2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, nas duas lagoas). Em abril/06, a concentração de fósforo total foi maior na segunda lagoa ($1,6 \text{ mg.L}^{-1}$) se comparada à primeira ($1,1 \text{ mg.L}^{-1}$). Nas lagoas facultativas convencionais (ETE de Jacupiranga), as concentrações foram maiores e estiveram entre $1,7 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/05) e $2,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (abril/06).

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), houve aumento nas concentrações de fósforo total em janeiro/06 e julho/06. As concentrações nesse compartimento variaram entre $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (setembro/06) e $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (julho/06).

Figura 80 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de nitrato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (M2), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 81 - Concentração média e desvio-padrão (n: 3) de fósforo total (mg.L^{-1}) na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Paríquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Os dois sistemas de lagoas reduziram as concentrações de Dióxido de carbono total (**CO₂ total**), de maneira que o efluente final esteve com concentrações entre 88 e 179 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu e entre 84 e 162 mg.L⁻¹, em Jacupiranga. As maiores concentrações desta variável no efluente final ocorreram em julho/06, enquanto que as menores, em abril/06, nos dois sistemas (Figura 82).

Comparando os dois sistemas, a concentração CO₂ total no afluente bruto foi maior na ETE de Jacupiranga, em setembro/05 (193 mg.L⁻¹, em Jacupiranga e 147 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu) e em abril/06 (166 mg.L⁻¹, em Jacupiranga e 135 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu). Nos meses de janeiro/06 e julho/06, isto se inverteu, com maiores concentrações na ETE de Pariquera-Açu (150 e 213 mg.L⁻¹, respectivamente) e menores em Jacupiranga (134 e 169 mg.L⁻¹, respectivamente).

Em geral, houve redução de CO₂ total nas primeiras lagoas dos sistemas, exceto em julho/06, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga). Em geral, as maiores concentrações foram observadas na saída das lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), exceto em abril/06. Tanto nas lagoas anaeróbias, quanto na lagoa aerada, as maiores concentrações foram observadas em julho/06, sendo de 204 mg.L⁻¹, nas lagoas anaeróbias e 194 mg.L⁻¹, na lagoa aerada. Nas outras épocas do ano, nas lagoas anaeróbias, as concentrações variaram entre 123 mg.L⁻¹ (abril/06) e 125 mg.L⁻¹ (janeiro/06). Na lagoa aerada, a faixa de concentrações foi maior, e esteve entre 109 mg.L⁻¹ (janeiro/06) e 126 mg.L⁻¹ (abril/06).

Nas lagoas facultativas também houve redução desta variável, em relação às lagoas anteriores. As maiores concentrações também foram observadas em julho/06 (165 mg.L⁻¹, na SF; 179 mg.L⁻¹, na SF1; e 169 mg.L⁻¹, na SF2). As menores concentrações foram observadas em abril/06 (84 mg.L⁻¹, na SF; 89 mg.L⁻¹, na SF1; e 88 mg.L⁻¹, na SF2). Em setembro/05, as concentrações, nas três lagoas, foram iguais a 103 mg.L⁻¹. Em janeiro/06, as concentrações foram 93 mg.L⁻¹, na SF; 99 mg.L⁻¹, na SF1; e 107 mg.L⁻¹, na SF2.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), em setembro/05 e em julho/06 houve diminuição das concentrações, com relação à facultativa convencional, para 100 mg.L^{-1} e 162 mg.L^{-1} , respectivamente. Em janeiro/06, houve aumento, com relação à facultativa, para 96 mg.L^{-1} ; e em abril/06, houve semelhança (84 mg.L^{-1}).

Como para as concentrações de CO_2 total, as concentrações de Dióxido de carbono livre (**CO_2 livre**) reduziram nos dois sistemas de lagoas, sendo que as menores concentrações foram observadas no efluente final da ETE de Jacupiranga (entre 2 mg.L^{-1} e 14 mg.L^{-1}). Na ETE de Pariquera-Açu, o efluente final esteve com concentrações entre 4 mg.L^{-1} e 19 mg.L^{-1} . Nos dois sistemas as maiores concentrações efluentes ocorreram em julho/06 (Figura 83).

Quando comparados os afluentes dos dois sistemas, as concentrações de CO_2 livre foram semelhantes em abril/06 e julho/06, nas duas ETES. Em setembro/05, as concentrações foram maiores no afluente da ETE de Jacupiranga, enquanto que em julho/06, na de Pariquera-Açu. Na ETE de Jacupiranga, as concentrações na entrada foram de 40 mg.L^{-1} , em setembro/05; 22 mg.L^{-1} , em janeiro/06; 30 mg.L^{-1} , em abril/06; e 37 mg.L^{-1} , em julho/06. Na ETE de Pariquera-Açu, as concentrações foram de 30 mg.L^{-1} , em setembro/06; 33 mg.L^{-1} , em janeiro/06; 23 mg.L^{-1} , em abril/06; e 32 mg.L^{-1} , em julho/06.

Nas primeiras lagoas houve redução desta variável, exceto em julho/06, nas lagoas anaeróbias. As maiores concentrações foram observadas nas lagoas anaeróbias, exceto em abril/06. Tanto na lagoa aerada, quanto nas anaeróbias, as maiores concentrações foram observadas em julho/06, assim como as maiores concentrações de dióxido de carbono total, tendo sido de 41 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias; e 31 mg.L^{-1} , na lagoa aerada. Nas outras épocas do ano, estiveram entre 18 mg.L^{-1} (abril/06) e 26 mg.L^{-1} (setembro/05), nas lagoas anaeróbias; e entre 11 mg.L^{-1} (setembro/05) e 19 mg.L^{-1} (abril/06), na aerada.

Nas lagoas facultativas, houve redução das concentrações se comparada às lagoas anteriores. Ao comparar as três lagoas facultativas, dos dois sistemas, as menores

concentrações foram observadas na saída da lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

Assim como nas lagoas anaeróbias e aerada, as maiores concentrações nas três lagoas facultativas foram observadas em julho/06 (19 mg.L⁻¹, na SF1; 16 mg.L⁻¹, na SF2; e 15 mg.L⁻¹, na SF). Concentrações elevadas também foram observadas em janeiro/06, nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), onde foram 14 mg.L⁻¹, nas duas lagoas; na convencional foi baixa e igual a 3 mg.L⁻¹. Nas outras duas épocas do ano, as concentrações variaram entre 4 mg.L⁻¹ (SF2, em abril/06) e 8 mg.L⁻¹ (SF2, em setembro/05), nas lagoas com chicanas e entre 2 mg.L⁻¹ (abril/06) e 5 mg.L⁻¹ (setembro/05), na convencional.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), houve diminuição das concentrações desta variável, com relação à facultativa convencional, em setembro/05 (3 mg.L⁻¹) e julho/06 (14 mg.L⁻¹), aumento em janeiro/06 (6 mg.L⁻¹) e semelhança em abril/06 (2 mg.L⁻¹).

Figura 82 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de dióxido de carbono total (mg.L⁻¹) na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Paríquera-Água, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 83 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de dióxido de carbono livre (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Nos dois sistemas houve redução de concentrações de **bicarbonato** e de forma semelhante, as maiores concentrações desta variável, no efluente final, foram observadas em julho/06, enquanto que as maiores em abril/06, nos dois sistemas. Na ETE de Pariquera-Açu estas concentrações variaram entre 116 mg.L⁻¹ e 221 mg.L⁻¹; e na ETE de Jacupiranga estiveram entre 113 mg.L⁻¹ e 205 mg.L⁻¹ (Figura 84).

Na ETE de Pariquera-Açu, concentrações semelhantes foram verificadas na entrada do sistema em setembro/05 (163 mg.L⁻¹), janeiro/06 (162 mg.L⁻¹) e abril/06 (155 mg.L⁻¹). Nesse sistema, as maiores concentrações na entrada ocorreram em julho/06 (250 mg.L⁻¹). Na entrada da ETE de Jacupiranga, as concentrações foram distintas nos quatro períodos e estiveram entre 156 mg.L⁻¹ (janeiro/06) e 210 mg.L⁻¹ (setembro/05).

Em geral, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) e na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), houve redução desta variável, exceto na lagoa aerada, em julho/06. As maiores concentrações na saída destas lagoas, como para CO₂ livre e total, foram observadas em julho/06 (227 mg.L⁻¹, nas lagoas anaeróbias; e 226 mg.L⁻¹, na lagoa aerada). Nas outras épocas do ano, nas lagoas anaeróbias, as concentrações foram semelhantes e estiveram entre 136 mg.L⁻¹ (setembro/05) e 145 mg.L⁻¹ (abril/06). Na lagoa aerada, a faixa de concentrações foi maior e esteve entre 128 mg.L⁻¹ (janeiro/06) e 148 mg.L⁻¹ (abril/06).

Nas lagoas facultativas, houve redução das concentrações de bicarbonato, com relação às lagoas anteriores. Maiores concentrações, assim como para as primeiras lagoas e as demais formas de carbono, foram observadas em julho/06, para as três lagoas (221 mg.L⁻¹, na SF1; 212 mg.L⁻¹, na SF2; e 208 mg.L⁻¹, na SF). Nas outras épocas do ano, menor faixa de variação, se comparada às outras lagoas facultativas, foi observada para a lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu) com as concentrações entre 116 mg.L⁻¹ (abril/06) e 132 mg.L⁻¹ (setembro/05). Nas outras lagoas, as concentrações estiveram entre 116 mg.L⁻¹ (abril/06) e 135 mg.L⁻¹ (setembro/05), SF1; e 112 mg.L⁻¹ (abril/06) e 135 mg.L⁻¹

(setembro/05), SF. Concentrações semelhantes foram verificadas entre as duas lagoas com chicanas, em abril/06, principalmente.

No tanque desativado (ETE de Jacupiranga), houve semelhança das concentrações de bicarbonato, em relação à facultativa convencional, em todas as épocas do ano. As maiores concentrações foram observadas em julho/06 (205 mg.L^{-1}), enquanto que as menores em abril/06 (113 mg.L^{-1}). Nas outras épocas do ano foram 134 mg.L^{-1} , em setembro/05 e 125 mg.L^{-1} , em janeiro/06.

Nos dois sistemas as concentrações de **carbonato** aumentaram, sendo que o maior aumento do afluente para o efluente ocorreu no sistema de Jacupiranga. As concentrações de carbonato no efluente final da ETE de Pariquera-Açu estiveram entre $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$ e na ETE de Jacupiranga, entre $0,27 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,16 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 85).

As concentrações de carbonato que entraram nos dois sistemas, em geral, foram próximas, exceto em julho/06, quando as concentrações foram maiores na ETE de Pariquera-Açu ($0,18 \text{ mg.L}^{-1}$, em Pariquera-Açu e $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$, em Jacupiranga). Nas outras épocas do ano, as concentrações variaram entre $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$, em Pariquera-Açu e foram iguais $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$, em Jacupiranga.

Nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), as concentrações foram maiores em setembro/05 ($0,21 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias e $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$, na aerada) e em julho/06 ($0,15 \text{ mg.L}^{-1}$, nas lagoas anaeróbias e $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$, na aerada). Nas outras épocas do ano as concentrações desta variável foram semelhantes, tanto na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga), quanto nas anaeróbias, e iguais a $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, em janeiro/06 e abril/06, respectivamente, nas anaeróbias e $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$, em janeiro/06 e abril/06, respectivamente, na aerada.

Nas lagoas facultativas, as concentrações aumentaram, com relação às concentrações na saída das lagoas anteriores. As maiores concentrações foram observadas na saída da

facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), exceto em julho/06, sendo que estiveram entre $0,49 \text{ mg.L}^{-1}$, em janeiro/06 e $1,92 \text{ mg.L}^{-1}$, em abril/06. Em julho/06, as concentrações foram semelhantes ($0,27 \text{ mg.L}^{-1}$, SF; $0,23 \text{ mg.L}^{-1}$, SF1 e $0,26 \text{ mg.L}^{-1}$, SF2). Nas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), as menores concentrações foram observadas em janeiro/06 ($0,09 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF1 e $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$, na SF2). Nas outras épocas do ano, nas lagoas com chicanas, as concentrações estiveram entre $0,23 \text{ mg.L}^{-1}$ (SF1, em abril/06) e $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$ (SF1, em setembro/05).

No tanque desativado (ETE de Jacupiranga), houve diminuição das concentrações, com relação à lagoa anterior (facultativa convencional), apenas em janeiro/06 ($0,27 \text{ mg.L}^{-1}$). Em setembro/05 e abril/06, houve aumento para $0,72 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,16 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. E em julho a concentração foi semelhante e igual a $0,27 \text{ mg.L}^{-1}$.

Figura 84 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de bicarbonato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). n: 3. Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 85 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de carbonato (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Nos dois sistemas houve redução de **carbono inorgânico**. As concentrações desta variável no efluente final dos dois sistemas foram semelhantes, sendo que as maiores foram observadas em julho/06. Na ETE de Pariquera-Açu, as concentrações no efluente final variaram entre 24 mg.L^{-1} e 49 mg.L^{-1} e na de Jacupiranga estiveram entre 23 mg.L^{-1} e 44 mg.L^{-1} (Figura 86).

Na entrada dos sistemas, maiores concentrações foram observadas na ETE de Jacupiranga, se comparada à de Pariquera-Açu, em setembro/05 (59 mg.L^{-1} e 40 mg.L^{-1} , Jacupiranga e Pariquera-Açu, respectivamente) e abril/06 (45 mg.L^{-1} e 37 mg.L^{-1} , em Jacupiranga e Pariquera-Açu, respectivamente). Por outro lado, em janeiro/06 e julho/06, as maiores concentrações foram observadas na ETE de Pariquera-Açu (41 mg.L^{-1} e 37 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e Jacupiranga, respectivamente, em janeiro/06; e 58 mg.L^{-1} e 46 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e Jacupiranga, respectivamente, em julho/06).

Na saída das lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) e aerada (ETE de Jacupiranga), em geral, houve redução das concentrações, exceto em julho/06, na lagoa aerada. As maiores concentrações foram observadas em julho/06 (56 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias e 53 mg.L^{-1} , na lagoa aerada). Nas outras épocas do ano, as concentrações foram iguais a 34 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias e estiveram entre 30 mg.L^{-1} (janeiro/06) e 34 mg.L^{-1} (abril/06), na aerada.

Nas lagoas facultativas houve redução nas concentrações de carbono inorgânico, quando comparadas às concentrações na saída das lagoas anteriores. As concentrações na saída das três lagoas foram semelhantes em todas as épocas do ano. As maiores concentrações foram observadas em julho/06 (49 mg.L^{-1} , na SF1; 46 mg.L^{-1} , na SF2 e 45 mg.L^{-1} , na SF). Concentrações iguais, nas três lagoas, foram observadas em setembro/05 (28 mg.L^{-1}). Nas outras épocas do ano, as concentrações foram 27 mg.L^{-1} , na SF1; 29 mg.L^{-1} , na SF2 e 25 mg.L^{-1} , na SF, em janeiro/06; e 24 mg.L^{-1} , na SF1; 24 mg.L^{-1} , na SF2 e 23 mg.L^{-1} , na SF,

em abril/06.

No tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga), as concentrações desta variável foram semelhantes às da lagoa anterior (facultativa convencional). As maiores concentrações foram observadas em julho (44 mg.L^{-1}). Nas outras épocas do ano, estiveram entre 23 mg.L^{-1} (abril/06) e 27 mg.L^{-1} (setembro/05).

Nos dois sistemas houve redução de **alcalinidade** e em ambos as maiores concentrações desta variável no efluente final foram observadas em julho/06. Na ETE de Pariquera-Açu, as concentrações de alcalinidade no efluente final estiveram entre 105 mg.L^{-1} e 200 mg.L^{-1} e na ETE de Jacupiranga, entre 104 mg.L^{-1} e 185 mg.L^{-1} (Figura 87).

Na entrada dos sistemas, as maiores concentrações foram observadas na ETE de Pariquera-Açu, quando comparadas às concentrações na entrada da ETE de Jacupiranga, apenas em julho/06 (224 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 165 mg.L^{-1} , em Jacupiranga). Em setembro/05 e abril/06, as maiores concentrações ocorreram na entrada da ETE de Jacupiranga, sendo que em setembro/05, as concentrações foram de 147 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 189 mg.L^{-1} , em Jacupiranga; e em abril/06 de 134 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 169 mg.L^{-1} , em Jacupiranga. Em janeiro/06 as concentrações foram semelhantes (146 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 141 mg.L^{-1} , em Jacupiranga).

Nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu) e aerada (ETE de Jacupiranga), as concentrações reduziram, exceto em julho/06, na saída da lagoa aerada. As maiores concentrações na saída destas lagoas foram observadas em julho/06 (204 mg.L^{-1} , nas lagoas anaeróbias e na aerada). Nas outras épocas do ano, as concentrações foram próximas e variaram entre 123 mg.L^{-1} (setembro/05) e 131 mg.L^{-1} (abril/06), nas lagoas anaeróbias; e entre 116 mg.L^{-1} (janeiro/06) e 134 mg.L^{-1} (abril/06).

Figura 86 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de carbono inorgânico (mg.L^{-1}), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (MI), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (STC) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (MI), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; (SF2), n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Figura 87 - Concentração média e desvio padrão (n: 3) de alcalinidade (mg.L⁻¹), na entrada (E) dos sistemas, saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa aerada (M2), saída das lagoas facultativas com chicanas (SF1 e SF2), saída da facultativa convencional (SF) e saída do tanque de cloração (STC). Exceções: (E) Pariquera-Açu, n:2; (M1), n:2; (SF1), n:1, sem desvio padrão; n:1, sem desvio padrão, em abr/06.

Nas lagoas facultativas, em geral, as concentrações reduziram, se comparadas às na saída das lagoas anteriores. As menores concentrações, nas três lagoas, foram observadas em abril/06 (105 mg.L^{-1} , na SF1; 105 mg.L^{-1} , na SF2 e 104 mg.L^{-1} , na SF). As maiores concentrações, nas três lagoas, foram observadas em julho/06 (191 mg.L^{-1} , na SF1; 200 mg.L^{-1} , na SF2 e 185 mg.L^{-1} , na SF). Nas outras épocas do ano foram 119 mg.L^{-1} , na SF1; 122 mg.L^{-1} , na SF2 e 123 mg.L^{-1} , na SF, em setembro/05; e 116 mg.L^{-1} , na SF1; 106 mg.L^{-1} , na SF2 e 112 mg.L^{-1} , na SF, em janeiro/06.

No tanque desativado (ETE de Jacupiranga), as concentrações esta variável foram semelhantes às da lagoa anterior (facultativa convencional). As maiores concentrações foram observadas em julho/06 (185 mg.L^{-1}). Nas outras épocas do ano, variaram entre 104 mg.L^{-1} (abril/06) e 122 mg.L^{-1} (setembro/05).

5.5. Eficiências de redução calculadas para os dois sistemas de lagoas de estabilização

- **Sistema de Pariquera-Açu**

As principais variáveis que caracterizam a eficiência de lagoas de estabilização, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), fósforo total (PT) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK), foram apresentadas nas Tabelas 35 e 36, sendo que na primeira está a eficiência das variáveis desde a entrada até a saída da lagoa facultativa com chicanas 1 e na segunda, desde a entrada até a saída da lagoa facultativa 2.

Tabela 36 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 1.

	DQO (%)	SST (%)	PT (%)	NTK (%)
Set/05	38	69	59	47
Jan/06	13	56	19	43
Abr/06	28	74	46	42
Jul/06	38	68	32	35

Tabela 37 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 2.

	DQO (%)	SST (%)	PT (%)	NTK (%)
Set/05	56	68	59	44
Jan/06	19	59	16	40
Abr/06	(I)	71	18	48
Jul/06	56	64	35	34

(I) aumento de 1%.

As maiores eficiências de DQO nas duas lagoas facultativas com chicanas ocorreu em setembro/05 (38% e 56%, na primeira e segunda, respectivamente) e julho/06 (38% e 56%, na primeira e segunda, respectivamente). As maiores eficiências de fósforo total, nas duas lagoas, ocorreram em setembro/06 (59%, nas duas lagoas). A de sólidos suspensos totais, na facultativa 1, ocorreu em abril/06 (74%), enquanto que na facultativa 2, em setembro/05 (68%). Para nitrogênio total Kjeldahl, ocorreu em setembro/05 (47%), na facultativa 1 e em abril/06 (48%), na facultativa 2. A menor eficiência, da maioria das variáveis, foi observada em janeiro/06, exceto nitrogênio total Kjeldahl, que ocorreu em julho/06 (35% e 34%, na

primeira e segunda lagoa, respectivamente). Aumento nas concentrações de DQO ocorreu apenas na facultativa 1, em abril/06 (1%).

- **Lagoas anaeróbias 1 e 2 (ETE de Pariquera-Açu)**

Conforme a Tabela 37, maior eficiência média de redução de nitrato e nitrito, nas lagoas anaeróbias da ETE de Pariquera-Açu, foi observada em julho/06 (43% e 65%, respectivamente); de nitrogênio amoniacal e total ocorreu em setembro/06 (32% e 43%, respectivamente); e de fósforo total, em setembro/06 e abril/06 (62%). A menor eficiência média de nitrato, nitrito, nitrogênio total e fósforo total ocorreu em janeiro/06 (24%, 39%, 32% e 20%, respectivamente), enquanto que de nitrogênio amoniacal ocorreu em julho/06 (19%). Nas amostragens diárias, aumento das concentrações foi observado para nitrogênio amoniacal, em um dia, em julho/06; e para fósforo total, em um dia, em janeiro/06 e julho/06.

Conforme a Tabela 38, a maior eficiência média de redução de DQO ocorreu em setembro/05 (81%) e a de clorofila *a*, em julho/06 (40%). Ressalta-se que eficiência de redução de clorofila *a* apenas ocorreu no mês citado anteriormente. A menor eficiência média de DQO foi observada em abril/06 (24%). Aumento médio nas concentrações de clorofila *a* ocorreu na maioria das épocas do ano, exceto em julho/06, sendo que o maior aumento ocorreu em abril/06 (114%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de clorofila *a* ocorreu em três dias, em setembro/05 e janeiro/06; e nas duas únicas medições, em abril/06.

Tabela 38 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldhal e fósforo total – nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	36	40	32	43	62
	DP	24	10	11	5	3
Jan/06	M	24	39	24	32	20*
	DP	21	26	18	8	18
Abr/06	M	35	61	23	38	62
	DP	5	30	1	3	16
Jul/06	M	43	65	19*	33	21*
	DP	10	15	18	9	37

(*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta.

Tabela 39 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).

		Clorofila <i>a</i> (%)	DQO (%)
Set/05	M	(I) ***	81
	DP		1
Jan/06	M	(II)***	34
	DP		19
Abr/06	M	(III)**	24
	DP		22
Jul/06	M	40	37
	DP	28	8

(I) aumento médio de 18%, com desvio padrão de 4%. (II) aumento médio de 75%, com desvio padrão de 50%. (III) aumento de 114%, com apenas uma amostragem. (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Conforme a Tabela 39, as maiores eficiências médias de redução das três frações sólidos suspensos ocorreram em abril/06 (79%, 76% e 88%, para totais, orgânicos e inorgânicos, respectivamente), enquanto que as menores em julho/06 (67%, 64% e 74%, para totais, orgânicos e inorgânicos, respectivamente) além de setembro/05, para inorgânicos (74%). No entanto, apesar da variação, a redução nesta lagoa foi maior que 60%.

Tabela 40 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	73	73	74
	DP	4	3	7
Jan/06	M	71	67	77
	DP	13	13	13
Abr/06	M	79	76	88
	DP	2	0,0	2
Jul/06	M	67	64	74
	DP	3	5	13

Como na Tabela 40, a maior eficiência média de redução de dióxido de carbono total (CO_2 total) – 16% - e de carbono inorgânico (C-inorgânico) – 16% - foi observada em setembro/05 e janeiro/06; a de dióxido de carbono livre (CO_2 livre) – 22% - ocorreu em janeiro/06 e abril/06; a de bicarbonato (HCO_3^-) em setembro/05 (16%); e a de carbonato (CO_3^{2-}), em julho/06 (28%). A menor eficiência média de redução de dióxido de carbono total (3%) e carbono inorgânico (3%) foi observado em julho/06; a de bicarbonato (6%), em abril/06; e de carbonato (13%) e dióxido de carbono livre (17%), em setembro/05.

Aumento médio de dióxido de carbono livre ocorreu apenas em julho/06 (20%); e de carbonato ocorreu em janeiro/06 (19%) e abril/06 (13%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de dióxido de carbono livre ocorreu em um dia, em setembro/05 e janeiro/06; e três dias, em julho/06. Para bicarbonato, dióxido de carbono total, carbono inorgânico e alcalinidade, ocorreu em um dia, em julho/06. Para carbonato, foi observada em um dia, em janeiro/06; e dois dias, em abril/06.

Tabela 41 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	16	13*	16	17	16	16
	DP	6	14	6	15	6	6
Jan/06	M	16	22*	12	(II)*	16	12
	DP	2	28	10		2	10
Abr/06	M	9	22	6	(III)*	9	6
	DP	7	6	8		7	8
Jul/06	M	3*	(I)***	8*	28	3*	8*
	DP	11		13	20	11	18

(I) aumento médio de 20%, com desvio padrão de 10%. (II) aumento médio de 19%, com desvio padrão de 80%. (III) aumento de 13%, com apenas uma amostragem. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta.

- **Lagoa facultativa com chicanas (ETE de Pariquera-Açu)**

Conforme as Tabelas 41 e 42, a maior eficiência média de redução de nitrato (7% e 16%, na facultativa 1 e 2, respectivamente), ocorreu em julho/06; de nitrogênio amoniacal

(31%) e nitrogênio total (11%), na facultativa 2, em abril/06, enquanto que, na facultativa 1, em janeiro/06 (37% e 15%, respectivamente); e fósforo total (18% e 24%, na facultativa 1 e 2, respectivamente) foi observada em abril/06, nas duas facultativas; e a de nitrito ocorreu em janeiro/06, na facultativa 2 (18%). A menor eficiência média de redução de nitrogênio amoniacal (5% e 9%, na facultativa 1 e 2, respectivamente) e nitrogênio total (5% e 1%, na facultativa 1 e 2, respectivamente) ocorreu em setembro/05, nas duas facultativas; a de nitrato ocorreu em janeiro/06, na facultativa 2 (11%) e abril/06, na facultativa 1 (2%); e de nitrito na facultativa 2 (10%) e de fósforo total nas duas facultativas (1% e 5%, na facultativa 1 e 2, respectivamente), ocorreram em julho/06.

As concentrações médias de nitrito aumentaram nas quatro épocas do ano, na facultativa 1, sendo que o maior aumento ocorreu em abril/06 (240%), enquanto que o menor em setembro/05 (6%). Na facultativa 2, aumento médio nas concentrações de nitrito ocorreram apenas em setembro/05 (44%) e abril/06 (683%). Para nitrato e fósforo total, na facultativa 1, houve aumento em setembro/05 (10% e 8%, respectivamente) e janeiro/06 (13% e 8%, respectivamente). Na facultativa 2, aumento das duas variáveis ocorreu em setembro/05 (115% e 8%, respectivamente), além de aumento de fósforo total em janeiro/06 (5%) e abril/06 (24%).

Nas amostragens diárias, eficiência aumento nas concentrações de nitrato foi observada em dois dias, nas duas facultativas, em setembro/05; em um dia, em janeiro/06 e julho/06, na facultativa 1. Para nitrito, ocorreu em dois dias de coleta, em setembro/05, nas duas facultativas, e em janeiro/06 e julho/06, na facultativa 1; na única medição em abril/06, nas duas facultativas; e um dia, em julho/06, na facultativa 2. Para nitrogênio total, ocorreu em um dia, em setembro/05, nas duas facultativas; e em julho/06, na facultativa 2. Para fósforo total, em dois dias, nas duas lagoas, em setembro/05 e janeiro/06; e em um dia, em abril/06, na facultativa 2 e julho/06, nas duas facultativas.

Tabela 42 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	(I)**	(III)**	5	5*	(VII)**
	DP			3	9	
Jan/06	M	(II)*	(IV)**	37	15	(VIII)**
	DP			3	5	
Abr/06	M	2	(V)*	30	3	18
	DP	-		-	-	-
Jul/06	M	7*	(VI)**	12	10	1*
	DP	11		10	8	6

(I) aumento médio de 10%, com desvio padrão de 32%. (II) aumento médio de 13%, com desvio padrão de 38%. (III) aumento médio de 6%, com desvio padrão de 19%. (IV) aumento médio de 21%, com desvio padrão de 66%. (V) aumento de 240%, com apenas uma amostragem. (VI) aumento médio de 16%, com desvio padrão de 31%. (VII) aumento 8%, com desvio padrão de 7%. (VIII) aumento médio de 8%, com desvio padrão de 10%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

Tabela 43 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	(I)**	(II)**	9	1*	(IV)**
	DP			3	16	
Jan/06	M	11	18	22	10	(V)**
	DP	7	13	6	4	
Abr/06	M	0	(III)*	31	11	(VI)*
	DP	-		-	-	-
Jul/06	M	16	10*	25	6*	5*
	DP	7	20	9	13	9

(I) aumento médio de 115%, com desvio padrão de 219%. (II) aumento médio de 44%, com desvio padrão de 43%. (III) aumento de 683%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 8%, com desvio padrão de 13%. (V) aumento médio de 5%, com desvio padrão de 15%. (VI) aumento de 24%, com apenas uma amostragem. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

Conforme as Tabelas 43 e 44, a maior eficiência média de redução de DQO foi observada em abril/06, na facultativa 1 (33%) e em julho/06, na facultativa 2 (29%). A menor eficiência média ocorreu em julho/06, na facultativa 1 (0%) e em abril/06, na facultativa 2 (6%). Aumento médio de clorofila *a* foi observado em todas as épocas do ano, nas duas lagoas, sendo que o maior ocorreu em julho/06, nas duas facultativas (3813% e 5450%, na facultativa 1 e 2, respectivamente), enquanto que o menor em janeiro/06, nas duas facultativas (84% e 186%, na facultativa 1 e 2, respectivamente). Aumento médio de DQO ocorreu apenas em janeiro/06, nas duas facultativas (41% e 30%, na facultativa 1 e 2, respectivamente).

Tabela 44 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).

		Clorofila <i>a</i>	DQO
		(%)	(%)
Set/05	M	(I)***	24
	DP		9
Jan/06	M	(II)**	(V)***
	DP		
Abr/06	M	(III)*	33
	DP		-
Jul/06	M	(IV)**2 ^a	0*
	DP		8

(I) aumento médio de 469%, com desvio padrão de 200%. (II) aumento médio de 84%, com desvio padrão de 162%. (III) aumento de 1627%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 3813%, com desvio padrão de 301%. (V) aumento médio de 41%, com desvio padrão de 18%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (2a) realização de duas amostragens, para esta variável.

Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de clorofila *a* ocorreu em três dias, em setembro/05, nas duas lagoas; em dois e três dias, na facultativa 1 e 2,

respectivamente, em janeiro/06; na única medição em abril/06, nas duas lagoas; e nas duas medições, em julho/06, nas duas lagoas. Para DQO, aumento nos valores ocorreu em três e dois dias, na lagoa 1 e 2, respectivamente, em janeiro/06; e em um dia, na lagoa 1, em julho/06.

Tabela 45 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).

		Clorofila <i>a</i>	DQO
		(%)	(%)
Set/05	M	(I)***	25
	DP		15
Jan/06	M	(II)***	(V)**
	DP		
Abr/06	M	(III)*	6
	DP		-
Jul/06	M	(IV)**2 ^a	29
	DP		19

(I) aumento médio de 532%, com desvio padrão de 485%. (II) aumento médio de 186%, com desvio padrão de 73%. (III) aumento de 1755%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 5450%, com desvio padrão de 2333%. (V) aumento médio de 30%, com desvio padrão de 32%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (2a) realização de duas amostragens, para esta variável.

Conforme as Tabelas 45 e 46, redução média de sólidos suspensos totais ocorreu apenas em julho/06, na facultativa 1 (4%). A maior eficiência de redução de sólidos suspensos inorgânicos ocorreu em setembro/05, na facultativa 1 (84%), enquanto que em setembro/06 e janeiro/06, na facultativa 2 (51% e 52%, respectivamente). A menor eficiência média de redução de sólidos suspensos inorgânicos ocorreu em julho/06, na facultativa 1 (14%), enquanto que em abril/06, na facultativa 2 (17%). Aumento médio de sólidos suspensos totais

e orgânicos ocorreu na maioria das épocas do ano, na facultativa 1, exceto em julho/06; e em todas as épocas do ano, na facultativa 2, sendo que o maior ocorreu em janeiro/06, nas duas lagoas (20% e 70%, respectivamente, na facultativa 1 e 25% e 55%, respectivamente na facultativa 2), enquanto que o menor em abril/06, na facultativa 1 (17% e 24%, respectivamente) e em julho/06, na facultativa 2 (8% e 17%, respectivamente).

Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de sólidos suspensos totais ocorreu em dois dias, em setembro/05, nas duas lagoas; em três dias, em janeiro/06, nas duas lagoas; na única medição, em abril/06, nas duas lagoas; e em um e três dias, na facultativa 1 e 2, respectivamente, em julho/06. Para sólidos suspensos orgânicos, em dois e três dias, na facultativa 1 e 2, respectivamente, em setembro/05 e julho/06; nos três dias, nas duas lagoas, em janeiro/06; e na única medição em abril/06. Para sólidos suspensos inorgânicos, apenas em um dia, na facultativa 1, em julho/06.

Tabela 46 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa com chicanas 1 (ETE de Pariquera-Açu).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	(I)**	(IV)**	84
	DP			15
Jan/06	M	(II)***	(V)***	71
	DP			19
Abr/06	M	(III)*	(VI)*	67
	DP			-
Jul/06	M	4*	0**	14*
	DP	4	15	79

(I) aumento médio de 25%, com desvio padrão de 46%. (II) aumento médio de 66%, com desvio padrão de 26%. (III) aumento de 17%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 70%, com desvio padrão de 72%. (V) aumento médio de 140%, com desvio padrão de 52%. (VI) aumento de 24%, com apenas uma amostragem. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

Tabela 47 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa com chicanas 2 (ETE de Pariquera-Açu).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	(I)**	(V)***	51
	DP			29
Jan/06	M	(II)***	(VI)***	52
	DP			31
Abr/06	M	(III)*	(VII)*	17
	DP			-
Jul/06	M	(IV)***	(VIII)***	40
	DP			25

(I) aumento médio de 25%, com desvio padrão de 22%. (II) aumento médio de 53%, com desvio padrão de 26%. (III) aumento de 33%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 8%, com desvio padrão de 2%. (V) aumento médio de 55%, com desvio padrão de 23%. (VI) aumento médio de 108%, com desvio padrão de 35%. (VII) aumento de 38%, com apenas uma amostragem. (VIII) aumento médio de 17%, com desvio padrão de 5%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

Conforme as Tabelas 47 e 48, a maior eficiência média de redução de dióxido de carbono total ocorreu em abril/06 (23% e 24%, na facultativa 1 e 2, respectivamente), nas duas lagoas; de dióxido de carbono livre, em setembro/05, na facultativa 1 (78%) e em abril/06, na facultativa 2 (75%); de bicarbonato, em janeiro/06, na facultativa 1 (17%), e em abril/06, na facultativa 2 (16%); de carbono inorgânico em abril/06, nas duas lagoas (23% e 24%, na facultativa 1 e 2, respectivamente); e de alcalinidade em janeiro/06, na facultativa 1 (17%) e em abril/06, na facultativa 2 (15%). A menor eficiência média de dióxido de carbono total ocorreu em julho/06, na facultativa 1 (12%) e em janeiro/06, na facultativa 2 (15%); de dióxido de carbono livre, em janeiro/06, nas duas lagoas (39% e 40%, na facultativa 1 e 2, respectivamente); de bicarbonato, em setembro/05, nas duas lagoas (1% e 3%, na facultativa 1

e 2, respectivamente) assim como em julho/06, na facultativa 1 (2%); de carbono inorgânico, em julho/06, na facultativa 1 (12%) e em janeiro/06, na facultativa 2 (15%); e de alcalinidade em setembro/05, nas duas lagoas (1% e 3%, na facultativa 1 e 2, respectivamente).

Aumento médio de carbonato ocorreu em todas as épocas do ano, sendo que a maior foi observada em setembro/05, nas duas lagoas (366% e 271%, na facultativa 1 e 2, respectivamente) e a menor em janeiro/06, nas duas lagoas (17% e 39%, na facultativa 1 e 2, respectivamente). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de carbonato ocorreu em três dias, em setembro/05 e julho/06, nas duas lagoas; dois e três dias, na lagoa 1 e 2, respectivamente, em janeiro/06; e na única mensuração, em abril/06. Para alcalinidade, o aumento de concentrações ocorreu em apenas um dia, em setembro/05, na facultativa 1.

Tabela 48 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa 1 (ETE de Pariquera-Açu).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	17	78	1	(I)***	17	1*
	DP	1	5	1		1	1
Jan/06	M	21	39	17	(II)**	21	17
	DP	1	11	3		1	3
Abr/06	M	23	69	15	(III)*	23	15
	DP	-	-	-		-	-
Jul/06	M	12	50	2	(IV)***	12	2
	DP	1	6	0		1	0

(I) aumento médio de 366%, com desvio padrão de 133%. (II) aumento médio de 17%, com desvio padrão de 32%. (III) aumento de 134%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 93%, com desvio padrão de 23%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

Tabela 49 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa 2 (ETE de Pariquera-Açu).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	17	70	3	(I)***	17	3
	DP	5	14	1		5	1
Jan/06	M	15	40	9	(II)***	15	9
	DP	4	4	4		4	4
Abr/06	M	24	75	16	(III)*	24	15
	DP	-	-	-		-	-
Jul/06	M	18	61	7	(IV)***	18	7
	DP	3	7	2		3	2

(I) aumento médio de 271%, com desvio padrão de 194%. (II) aumento médio de 39%, com desvio padrão de 8%. (III) aumento de 183%, com apenas uma amostragem. (IV) aumento médio de 125%, com desvio padrão de 31%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) apenas uma amostragem, portanto, sem desvio padrão.

• Sistema de Jacupiranga

As principais variáveis que caracterizam a eficiência de lagoas de estabilização, DQO, sólidos suspensos totais, fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl, foram apresentadas na Tabela 49, para o sistema de Jacupiranga.

A maior eficiência de DQO (94%), sólidos suspensos totais (79%), fósforo total (74%) e nitrogênio total Kjeldahl (64%) ocorreram em setembro/05. A menor eficiência de DQO ocorreu em abril/06 (13%); de SST, em julho/06 (57%); e de fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl, em janeiro/06 (27% e 25%, respectivamente). Aumento nas concentrações de DQO e nitrogênio total Kjeldahl ocorreram em julho/06 (15% e 11%, respectivamente).

Tabela 50 - Eficiência (%) média de redução de DQO, SST, PT e NTK, na saída da lagoa facultativa com chicanas 1.

	DQO (%)	SST (%)	PT (%)	NTK (%)
Set/05	94	79	74	64
Jan/06	31	64	27	25
Abr/06	13	76	39	51
Jul/06	(I)	57	41	(II)

(I) aumento de 15%. (II) aumento de 11%.

- **Lagoa aerada (ETE de Jacupiranga)**

Conforme a Tabela 50, a maior eficiência média de redução de nutrientes, na lagoa aerada, foi observada em setembro/05 (72%, 33%, 45%, 59% e 71%, para nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total, respectivamente). A menor eficiência média de redução de nitrato (11%) e nitrogênio total (25%) ocorreu em janeiro/06; de nitrito, em julho/06 (11%); e de nitrogênio amoniacal (22%) e fósforo total (34%), em abril/06.

Aumento médio das concentrações de nitrito foi observado, em janeiro/06 (62%) abril/06 (39%); e de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, em julho/06 (17% e 5%, respectivamente). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de nitrito foi observado apenas em um dia, em setembro/05 e julho/06; e em dois dias, em janeiro/06 e abril/06. Para nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, ocorreu apenas em julho/06, em três e dois dias, respectivamente.

Tabela 51 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total - na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	72	33*	45	59	71
	DP	20	45	7	1	10
Jan/06	M	11	(I)**	27	25	54
	DP	4		16	8	13
Abr/06	M	24	(II)**	22	30	34
	DP	2		25	14	14
Jul/06	M	23	11*	(III)***	(IV)**	45
	DP	10	78			12

(I) aumento médio de 62%, com desvio padrão de 122%. (II) aumento médio de 39%, com desvio padrão de 62%. (III) aumento médio de 17%, com desvio padrão de 6%. (IV) aumento médio de 5%, com desvio padrão de 11%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Conforme a Tabela 51, a única época do ano em que houve redução média de DQO foi em janeiro/06 (25%). Aumento médio nas concentrações de clorofila *a* ocorreu em todas as épocas do ano, sendo que o maior aumento ocorreu em janeiro/06 (1513%), enquanto que o menor, em julho/06 (375%). Aumento médio nas concentrações de DQO foi observado em abril/06 (15%) e julho/06 (35%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de DQO foi observado em três dias, em abril/06; e em dois dias, em julho/06. Para clorofila *a*, ocorreu na única amostragem em janeiro/06; em dois dias, em julho/06 e abril/06.

Conforme a Tabela 52, a maior eficiência média de redução das três frações de sólidos suspensos foi observada em setembro/05 (85%, 84% e 95%, para totais, orgânicos e inorgânicos, respectivamente), enquanto que a menor em julho/06 (57%, 56% e 62%, para totais, orgânicos e inorgânicos, respectivamente). A eficiência de redução de sólidos suspensos inorgânicos foi superior às outras, em todas as épocas do ano. Nas amostragens diárias, aumento das concentrações não foi observado em nenhuma época do ano.

Tabela 52 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).

		Clorofila <i>a</i>	DQO
		(%)	(%)
Set/05	M	-	-
	DP	-	-
Jan/06	M	(I)*	25
	DP		15
Abr/06	M	(II)** ^{2a}	(IV)***
	DP		
Jul/06	M	(III)**	(V)**
	DP		

(I) aumento de 1513%, com apenas uma amostragem. (II) aumento médio de 772%, com desvio padrão de 370%. (III) aumento médio de 375%, com desvio padrão de 395%. (IV) aumento médio de 15%, com desvio padrão de 9%. (V) aumento médio de 35%, com desvio padrão de 76%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) não amostrados. (2a) realização de duas amostragens, para esta variável.

Tabela 53 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	85	84	95
	DP	5	6	4
Jan/06	M	65	65	69
	DP	5	4	27
Abr/06	M	76	72	88
	DP	6	5	10
Jul/06	M	57	56	62
	DP	8	9	8

A maior eficiência média de redução de dióxido de carbono total (41%), dióxido de carbono livre (70%), bicarbonato (30%), carbono inorgânico (41%) e alcalinidade (30%) foi observada em setembro/05 (Tabela 53). A menor eficiência média de redução de dióxido de carbono total (18%), bicarbonato (17%), carbono inorgânico (18%) e alcalinidade (17%) ocorreu em janeiro/06; e a de dióxido de carbono livre (8%), julho/06.

Tabela 54 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	41	70	30	(III)**	41	30
	DP	3	20	6		3	6
Jan/06	M	18	22	17	7*	18	17
	DP	7	11	10	36	7	10
Abr/06	M	23	35	24	(IV)*	23	20
	DP	9	17	9		9	9
Jul/06	M	(I)***	8*	(II)***	(V)***	(VI)***	(VII)***
	DP		29				

(I) aumento médio de 15%, com desvio padrão de 5%. (II) aumento médio de 24%, com desvio padrão de 7%. (III) aumento médio de 178%, com desvio padrão de 252%. (IV) aumento médio de 3%, com desvio padrão de 26%. (V) aumento médio de 87%, com desvio padrão de 93%. (VI) aumento médio de 15%, com desvio padrão de 5%. (VII) aumento médio de 24%, com desvio padrão de 7%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Em julho/06, houve aumento médio da concentração da maioria das variáveis, tais como dióxido de carbono total (15%), bicarbonato (24%), carbonato (87%), carbono inorgânico (15%) e alcalinidade (24%). Além deste aumento, as concentrações de carbonato aumentaram em setembro/05 (178%) e abril/06 (3%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de carbonato foi observado em dois dias, em setembro/05; em um dia, em

janeiro/06 e abril/06; e em três dias, em julho/06. Para dióxido de carbono total, bicarbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, em três dias, em julho/06. E para dióxido de carbono livre, em um dia, em julho/06.

- **Lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga)**

Conforme a Tabela 54, a maior eficiência média de redução de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, na lagoa facultativa convencional, foi observada em abril/06 (33% e 34%, respectivamente); a de fósforo ocorreu em julho/06 (11%). A menor eficiência média de nitrogênio amoniacal ocorreu em janeiro/06 (7%), de nitrogênio total, em setembro/06 (9%) e de fósforo total, em abril/06 (3%).

As concentrações médias de nitrato e nitrito aumentaram em todas as épocas do ano, sendo que o maior aumento de nitrato ocorreu em setembro/05 (515%), enquanto que de nitrito em abril/06 (218%); o menor aumento de nitrato ocorreu em julho/06 (9%), enquanto que de nitrito, em setembro/05 (23%). As concentrações de nitrogênio total aumentaram apenas em janeiro/06 (4%) e julho/06 (2%) e as de fósforo total apenas em setembro/05 (13%) e janeiro/06 (48%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de nitrato foi observado nos três dias de coleta, em setembro/05, janeiro/06 e julho/06; e em apenas um dia, em abril/06. Para nitrito, em dois dias, em setembro/05 e julho/06; e em três dias, em janeiro/06 e abril/06. Para nitrogênio amoniacal, em apenas um dia, em janeiro/06. Para nitrogênio total, em um dia, em setembro/05; e em dois dias, em janeiro/06 e julho/06. E para fósforo total, em dois dias, em setembro/05; três dias, em janeiro/06; e um dia em abril/06 e julho/06.

Tabela 55 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total - na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	(I)***	(V)**	15	9*	(XI)**
	DP			13	21	
Jan/06	M	(II)***	(VI)***	7*	(IX)**	(XII)***
	DP			9		
Abr/06	M	(III)*	(VII)***	33	34	3*
	DP			4	1	9
Jul/06	M	(IV)***	(VIII)**	17	(X)**	11*
	DP			8		18

(I) aumento médio de 515%, com desvio padrão de 768%. (II) aumento médio de 57%, com desvio padrão de 81%. (III) aumento médio de 17%, com desvio padrão de 60%. (IV) aumento médio de 9%, com desvio padrão de 4%. (V) aumento médio de 23%, com desvio padrão de 61%. (VI) aumento médio de 137%, com desvio padrão de 59%. (VII) aumento médio de 218%, com desvio padrão de 223%. (VIII) aumento médio de 36%, com desvio padrão de 64%. (IX) aumento médio de 4%, com desvio padrão de 15%. (X) aumento médio de 2%, com desvio padrão de 44%. (XI) aumento médio de 13%, com desvio padrão de 64%. (XII) aumento médio de 48%, com desvio padrão de 60%. (*) aumento das concentrações em apenas um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Conforme a Tabela 55, a maior eficiência média de redução de DQO ocorreu em abril/06 (55%), enquanto que a menor, em julho/06 (23%). Aumento nas concentrações médias de DQO foi observado apenas em janeiro/06 (8%). As concentrações de clorofila *a* aumentaram em todas as épocas do ano, sendo que o maior aumento foi observado em julho/06 (3281%) e o menor, em janeiro/06 (203%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de DQO foi observado em dois dias, em janeiro/06 e em um dia, em julho/06. Para clorofila *a*, aumento foi observado nos três dias, em janeiro/06, abril/06 e julho/06.

Tabela 56 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

		Clorofila <i>a</i>	DQO
		(%)	(%)
Set/05	M	-	-
	DP	-	-
Jan/06	M	(I)***	(IV)**
	DP		
Abr/06	M	(II)***	55
	DP		40
Jul/06	M	(III)***	23*
	DP		52

(I) aumento médio de 203%, com desvio padrão de 44%. (II) aumento médio de 492%, com desvio padrão de 247%. (III) aumento médio de 3281%, com desvio padrão de 2976%. (IV) aumento médio de 8%, com desvio padrão de 11%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (-) não amostrados.

Conforme a Tabela 56, redução média de sólidos suspensos inorgânicos ocorreu apenas em julho/06 (17%). As concentrações de sólidos suspensos totais e orgânicos aumentaram em todas as épocas do ano, sendo que o maior aumento das duas variáveis ocorreu em abril/06 (63% e 62%, respectivamente), enquanto que o menor, em julho/06 (9% e 13%, respectivamente). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de sólidos suspensos totais foi observado em dois dias, em setembro/05 e julho/06; e em três dias em janeiro/06 e abril/06. As concentrações de suspensos orgânicos aumentaram em dois dias, em setembro/06; e em três nas outras épocas do ano. As de sólidos suspensos inorgânicos aumentaram em um dia, em setembro/06 e janeiro/06; e em dois dias, em abril/06.

Tabela 57 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	(I)**	(V)**	0* ^{2a}
	DP			141
Jan/06	M	(II)***	(VI)***	(IX)*
	DP			
Abr/06	M	(III)***	(VII)***	(X)**
	DP			
Jul/06	M	(IV)**	(VIII)***	17
	DP			17

(I) aumento médio de 403%, com desvio padrão de 100%. (II) aumento médio de 32%, com desvio padrão de 27%. (III) aumento médio de 63%, com desvio padrão de 27%. (IV) aumento médio de 9%, com desvio padrão de 11%. (V) aumento médio de 44%, com desvio padrão de 100%. (VI) aumento médio de 42%, com desvio padrão de 20%. (VII) aumento médio de 62%, com desvio padrão de 37%. (VIII) aumento médio de 13%, com desvio padrão de 11%. (IX) aumento médio de 150%, com desvio padrão de 366%. (X) aumento médio de 133%, com desvio padrão de 153%. (**) aumento das concentrações em um dia de coleta; (***) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta. (2a) realização de duas amostragens, para esta variável.

Como na Tabela 57, a maior eficiência média de redução de dióxido de carbono total (33%), dióxido de carbono livre (90%), bicarbonato (24%), carbono inorgânico (33%) e alcalinidade (22%) foi observada em abril/06. A menor eficiência de dióxido de carbono total (10%), dióxido de carbono livre (40%) e carbono inorgânico (10%) ocorreu em setembro/05; e a de bicarbonato (4%) e alcalinidade (3%) foi menor em janeiro/06. Aumento médio de carbono ocorreu em todas as épocas do ano, sendo que o maior foi observado em abril/06 (1876%), enquanto que o menor, em julho/06 (85%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbono inorgânico e alcalinidade foi observado em um dia, em setembro/05. As concentrações de

carbonato aumentaram em dois dias, em setembro/05; e em três dias, nas outras épocas do ano.

Tabela 58 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	10*	40*	6*	(I)**	10	5*
	DP	12	63	8		12	8
Jan/06	M	15	80	4	(II)***	15	3
	DP	1	8	1		1	1
Abr/06	M	33	90	24	(III)***	33	22
	DP	3	14	2		3	1
Jul/06	M	15	52	8	(IV)***	15	8
	DP	5	13	3		5	3

(I) aumento médio de 242%, com desvio padrão de 347%. (II) aumento médio de 442%, com desvio padrão de 250%. (III) aumento médio de 1846%, com desvio padrão de 1527%. (IV) aumento médio de 85%, com desvio padrão de 48%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

- **Tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga)**

Conforme a Tabela 58, a maior eficiência média de redução de nitrato ocorreu em setembro/05 (57%); de nitrito e nitrogênio total, em janeiro/06 (11% e 3%, respectivamente); e de nitrogênio amoniacal, em abril/06 (7%). As eficiências médias de redução de fósforo foram semelhantes, nas duas épocas do ano em que estas variáveis foram reduzidas, ou seja, em setembro/05 (4%) e abril/06 (3%). A menor eficiência média de nitrato ocorreu em abril/06 (3%); e de nitrito, em julho/06 (9%).

Aumento médio nas concentrações de nitrito foi observado em setembro/05 (33%) e abril/06 (264%); de nitrogênio amoniacal, em setembro/06 (2%) e janeiro/06 (1%); de nitrogênio total, em abril/06 (10%) e julho/06 (17%); e de fósforo total, em janeiro/06 (18%) e julho/06 (27%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de nitrato foi observado em um dia, em janeiro/06 e dois dias em abril/06. As concentrações de nitrito aumentaram em três dias em setembro/05 e abril/06; e em um dia, em janeiro/06. As de nitrogênio amoniacal aumentaram em dois dias, em setembro/05 e janeiro/06; e em um dia, em julho/06. As de nitrogênio total, em um dia, em setembro/05; três dias, em abril/06; e dois dias, em julho/06. E de fósforo total, em três dias, em janeiro/06 e em dois dias, em julho/06.

Tabela 59 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de nutrientes - nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total – no tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga).

		Nitrato (%)	Nitrito (%)	Nitrogênio Amoniacal (%)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo total (%)
Set/05	M	57	(I)***	(III)**	0*	4
	DP	9		6	4	24
Jan/06	M	14*	11*	(IV)**	3	(VII)
	DP	27	29	9	2	
Abr/06	M	3**	(II)***	7	(V)***	3
	DP	33		3		2
Jul/06	M	5	9	0*	(VI)**	(VIII)
	DP	5	7	3		

(I) aumento médio de 33%, com desvio padrão de 29%. (II) aumento médio de 264%, com desvio padrão de 134%. (III) aumento médio de 2%, com desvio padrão de 6%. (IV) aumento médio de 1%, com desvio padrão de 9%. (V) aumento médio de 10%, com desvio padrão de 5%. (VI) aumento médio de 17%, com desvio padrão de 42%. (VII) aumento médio de 18%, com desvio padrão de 19%. (VIII) aumento médio de 27%, com desvio padrão de 27%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Conforme a Tabela 59, a única época do ano em que houve redução média de clorofila *a* foi abril/06 (17%). A eficiência média de redução de DQO ocorreu apenas em setembro/05

(37%) e janeiro/06 (13%). Aumento nas concentrações médias de clorofila *a* ocorreu na maioria das épocas do ano, exceto em abril/06, sendo que o maior aumento ocorreu em setembro/05 (88%), enquanto que o menor, em janeiro/06 (8%). As concentrações de DQO aumentaram em abril/06 (138%) e julho/06 (128%). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de clorofila *a* ocorreu em três dias, na maioria das épocas do ano, exceto em abril/06. As concentrações de DQO aumentaram em três dias, em abril/06 e em dois dias, em julho/06.

Tabela 60 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de clorofila *a* e DQO, no tanque de cloração (ETE de Jacupiranga).

		Clorofila <i>a</i>	DQO
		(%)	(%)
Set/05	M	(I)***	0,37
	DP		0,25
Jan/06	M	(II)***	0,13
	DP		0,04
Abr/06	M	0,17	(IV)***
	DP	0,26	
Jul/06	M	(III)***	(V)**
	DP		

(I) aumento médio de 88%, com desvio padrão de 100%. (II) aumento médio de 8%, com desvio padrão de 5%. (III) aumento médio de 13%, com desvio padrão de 5%. (IV) aumento médio de 138%, com desvio padrão de 120%. (V) aumento médio de 128%, com desvio padrão de 212%. (**): aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***): aumento das concentrações em três dias de coleta.

Conforme a Tabela 60, a maior eficiência média de redução de sólidos suspensos totais, orgânicos e inorgânicos foi observada em abril/06 (36%, 22% e 96%, respectivamente).

A menor eficiência de redução de sólidos suspensos totais e orgânicos ocorreu em julho/06 (5% e 2%, respectivamente), enquanto que de inorgânicos, em janeiro/06 (27%). Aumento na concentração média de sólidos suspensos totais e orgânicos foi observado apenas em setembro/05 (26% e 20%, respectivamente). Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações de sólidos suspensos totais foi observado em dois dias, em setembro/05; e um dia, em julho/06. As concentrações de sólidos suspensos orgânico aumentaram em um dia, em setembro/05 e julho/06. E as de sólidos suspensos inorgânico, em dois dias, em setembro/05 e em um dia, janeiro/06.

Tabela 61 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos – totais, orgânicos e inorgânicos – no tanque de cloração (ETE de Jacupiranga).

		Sólidos suspensos totais (%)	Sólidos suspensos orgânicos (%)	Sólidos suspensos inorgânicos (%)
Set/05	M	(I)**	(II)*	0**
	DP			41
Jan/06	M	17	11	27
	DP	19	9	56
Abr/06	M	36	22	96
	DP	11	23	7
Jul/06	M	5*	2*	36
	DP	8	7	18

(I) aumento médio de 26%, com desvio padrão de 40%. (II) aumento médio de 20%, com desvio padrão de 44%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta.

Conforme a Tabela 61, a maior eficiência média de redução de dióxido de carbono livre ocorreu em setembro/05 (21%), enquanto que a menor, em julho/06 (2%). A maior eficiência média de redução de carbonato ocorreu em janeiro/06 (45%), enquanto que a menor, em abril/06 (23%). Para as outras variáveis, nas épocas do ano, em que houve

redução, as eficiências foram próximas. Aumento das concentrações médias de dióxido de carbono total, carbono inorgânico e alcalinidade foi observado apenas em janeiro/06 (4%, 4% e 1%, respectivamente); de dióxido de carbono livre e bicarbonato, em janeiro/06 (87% e 52%, respectivamente) e abri/06 (1%, para ambas); e de carbonato, em setembro/05 (42%) e julho/06 (5%).

Tabela 62 - Eficiência (%) média (M) de redução e desvio padrão (DP) de dióxido de carbono total, dióxido de carbono livre, bicarbonato, carbonato, carbono inorgânico e alcalinidade, no tanque de cloração desativado (ETE de Jacupiranga).

		CO ₂ total (%)	CO ₂ livre (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	CO ₃ ⁻² (%)	C-inorgânico (%)	Alcalinidade (%)
Set/05	M	2*	21	1*	(VI)**	2*	1*
	DP	5	33	3		5	3
Jan/06	M	(I)***	(II)***	(IV)*	45	(VIII)***	(IX)
	DP				6		
Abr/06	M	0**	(III)**	(V)**	23*	0**	0*
	DP	3			36	3	2
Jul/06	M	2*	2*	2*	(VII)**	2*	2*
	DP	5	35	2		5	2

(I) aumento médio de 4%, com desvio padrão de 2%. (II) aumento médio de 87%, com desvio padrão de 25%. (III) aumento médio de 52%, com desvio padrão de 64%. (IV) aumento médio de 1%, com desvio padrão de 1%. (V) aumento médio de 1%, com desvio padrão de 3%. (VI) aumento médio de 42%, com desvio padrão de 67%. (VII) aumento médio de 5%, com desvio padrão de 30%. (VIII) aumento médio de 4%, com desvio padrão de 2%. (IX) aumento médio de 1%, com desvio padrão de 1%. (*) aumento das concentrações em um dia de coleta; (**) aumento das concentrações em dois dias de coleta; (***) aumento das concentrações em três dias de coleta.

Nas amostragens diárias, aumento nas concentrações, de dióxido de carbono total e carbono inorgânico, ocorreu em um dia em setembro/05 e julho/06; em três dias, em janeiro/06; e em dois dias, em abril/06. As concentrações de dióxido de carbono livre aumentaram em três dias, em janeiro/06; em dois dias, em abril/06; e em um dia, em julho/06. As de bicarbonato, em um dia, em setembro/05, janeiro/06 e julho/06; e dois dias, em

abril/06. As de carbonato, em dois dias, em setembro/05 e julho/06; e em um dia, em abril/06. E as de alcalinidade, em um dia, em todas as épocas do ano.

5.6. Análise dos resultados com auxílio de ferramenta estatística

5.6.1. ETE de Pariquera-Açu

- **Relação entre os perfis**

Na avaliação da relação entre os perfis da ETE de Pariquera-Açu, através da ANOVA, as diferentes lagoas não foram consideradas distintas, já que não houve variação significativa entre elas, ou seja, *Wilks' Lambda* foi maior que 0,05 (0,844). Após este teste, as diferentes épocas do ano foram avaliadas. Como *Wilks' Lambda* foi menor que 0,05 (0,000), considerou-se a sazonalidade significativa indicando que houve agrupamentos diferentes para cada período de coleta. Por isso, a variável profundidade foi testada, separadamente para setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06.

Os testes entre as diferentes profundidades, em cada coleta, foram considerados não significativos, pois o *Wilks' Lambda* foi maior que 0,05 para todas as coletas: 0,169; 0,117; 0,326 e 0,389, para setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06, respectivamente. Já que apenas a sazonalidade foi significativa, o PCA foi rodado para cada coleta separadamente. A relação entre os perfis, nas quatro épocas do ano, está descrita a seguir.

Testes foram feitos com os diferentes dias de coleta, mas de acordo com os valores de *Wilks' Lambda* maiores que 0,05 (0,832; 0,432; 0,669 e 0,711, em setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06, respectivamente), esta variação não foi considerada significativa, ou seja, os perfis não foram considerados distintos nos diferentes dias de coleta.

Com relação à PCA, nas diferentes épocas do ano, em setembro/05, os resultados de pH não foram considerados, já que esta foi a época do ano em que o eletrodo que mede pH estava com problema. Apenas os dois primeiros fatores possuíram variáveis significativas e somaram 92% da variância total, ou seja, apenas 8% estiveram associados a outros fatores, ou seja, outras combinações entre as variáveis (Tabela 62). Nesta época do ano, houve relação entre os perfis de oxigênio dissolvido e os de temperatura, já que estes foram significativos no fator 1, aquele que contribuiu com maior variância na combinação entre variáveis (57% da variância total). Estes perfis não estiveram relacionados à condutividade elétrica, que foi significativa no fator 2 e contribuiu com 35% da variância total.

Em janeiro/06, os perfis de oxigênio dissolvido não foram considerados, já que estavam faltando concentrações em alguns dias. Variáveis significativas foram observadas apenas no fator 1, que foram temperatura, pH e condutividade elétrica, e contribuíram com 82% da variância total.

Em abril/06, variáveis significativas foram observadas nos dois primeiros fatores, os quais somaram 87% do total de variância. Ao analisar o fator 1, observou-se que houve relação entre os perfis de oxigênio dissolvido, pH e temperatura. Este fator contribuiu com 67% de variância. Os perfis de condutividade elétrica apresentaram comportamento diferente, pois foram significativos para o fator 2, que contribuiu com 20% de variância.

Em julho/06, variáveis significativas foram observadas nos dois primeiros fatores, os quais somaram 91% do total de variância. Ao analisar o fator 1, observou-se que houve relação entre perfis de oxigênio dissolvido e de pH, já que ambos foram significativos. Este

fator contribuiu com 51% de variância. Com relação ao fator 2, que contribuiu com 40% de variância, houve relação entre condutividade elétrica e temperatura.

Tabela 63 - Variáveis significativas de perfis, nas quatro épocas do ano, na ETE de Pariquera-Açu.

Época do ano	Fatores	OD	pH	T	Condutividade elétrica	% total de variância
Set/05	1	0,935	*	0,893	-0,199	57
	2	-0,085	*	0,305	0,971	35
Jan/06	1	NC	0,891	0,931	-0,896	82
	2	NC	0,419	-0,024	0,392	11
Abr/06	1	0,916	0,860	0,806	-0,667	67
	2	0,157	-0,109	0,520	0,704	20
Jul/06	1	0,926	0,916	0,519	-0,303	51
	2	0,123	-0,276	0,808	0,924	40

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas. * não mensurado nesta época do ano. NC: não considerado.

- **Qualidade do efluente**

Na avaliação da qualidade efluente da ETE de Pariquera-Açu, através da ANOVA, as diferentes lagoas foram consideradas distintas, pois houve variação significativa entre elas, ou seja, *Wilks' Lambda* foi maior que 0,05 (0,002), indicando que houve agrupamentos diferentes de períodos de coleta para cada lagoa. Por isso, os diferentes períodos de coleta foram testados, separadamente, para saída das lagoas anaeróbias (M1), saída da lagoa facultativa 1 (SF1) e saída da facultativa 2 (SF2).

Na análise da sazonalidade, em cada lagoa, a matriz resultante foi singular, o que significa que duas ou mais variáveis possuíam valores iguais ou próximos. Em vez de separar em diferentes planilhas, com variáveis que não tornasse a matriz singular, optou-se por rodar

o PCA com os efluentes todos juntos, ou seja, efluentes das coletas de setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06. Tal fato não prejudicou a avaliação sazonal, já que a mesma pôde ser observada nos gráficos da PCA através dos diferentes agrupamentos de mesmas coletas.

Após rodar a PCA, para as variáveis que expressam a qualidade do efluente na saída das **lagoas anaeróbias** (M1), com os dados sazonais e diários, algumas variáveis foram significativas, ou seja, foram importantes na definição dos agrupamentos para cada fator (para cada conjunto de variáveis) (Tabela 63). As variáveis dos três primeiros fatores somaram 92% da variância total. Os outros 8% de variância estão associados a outros fatores.

Tabela 64 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída das lagoas anaeróbia (M1), na ETE de Pariquera-Açu (n: 11).

Fatores	1	2	3
Variação de condutividade	-0,053	0,924	-0,206
Temperatura média	-0,532	0,249	-0,805
Nitrato	0,739	0,111	-0,629
Dióxido de Carbono Livre	0,874	0,235	0,377
VTSF	-0,562	0,718	0,291
Sólidos suspensos orgânicos	0,880	0,056	-0,239
Fósforo total	0,846	0,336	0,224
Sólidos suspensos totais	0,740	0,455	-0,217
Nitrogênio total Kjeldhal	0,978	0,077	0,149
Termoclina média	-0,359	0,834	0,128
Dióxido de carbono total	0,986	0,016	0,114
Carbono inorgânico	0,986	0,016	0,114
Sólidos suspensos inorgânicos	-0,115	0,896	0,101
Nitrogênio amoniacal	0,986	-0,012	0,072
Bicarbonato	0,984	-0,051	0,023
Alcalinidade	0,984	-0,052	0,022
Porcentagem total de variância	64	19	9

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas.

As variáveis significativas, para o fator 1, que contribuiu com 64% da variância total, foram nitrato, dióxido de carbono livre, sólidos suspensos orgânicos, fósforo total, sólidos

suspensos totais, nitrogênio total Kjeldahl, carbono inorgânico, dióxido de carbono total, nitrogênio amoniacal, bicarbonato e alcalinidade. As variáveis significativas, para o fator 2, que contribuiu com 19% da variância total, foram variação de condutividade, sólidos suspensos inorgânicos, variação de temperatura entre a superfície e o fundo (VTSF), termoclina média. Estas últimas, apenas de sumariarem apenas 19%, são importantes, na medida em que complementam o total de variância do primeiro fator, a fim de totalizar valor maior que 70%. Para o fator 3, apenas a temperatura média foi significativa (9% da variância total).

Com estas variáveis que expressam qualidade do efluente, além de serem gerados os fatores 1, 2 e 3, que permitem observar as variáveis significativas, foram gerados os *scores* utilizados para construir a Figura 88. Pode ser observado que três grupos iguais, para os fatores 1 e 2, foram formados. O primeiro foi composto pelas amostragens de setembro/05 e de abril/06. Outro grupo foi composto pela amostragem de janeiro/06 e o último, pela amostragem de julho/06.

Esses três agrupamentos evidenciaram variação sazonal, com semelhança de comportamento em setembro/05 e abril/06, e diferença entre as outras épocas do ano, para nitrato, dióxido de carbônico livre, sólidos suspensos orgânicos, fósforo total, sólidos suspensos totais, nitrogênio total Kjeldahl, carbono inorgânico, dióxido de carbônico total, nitrogênio amoniacal, bicarbonato, alcalinidade, variação de condutividade, sólidos suspensos inorgânicos, variação de temperatura entre a superfície e o fundo e termoclina média.

Figura 88 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fatores 1 e 2, na saída das lagoas anaeróbias (M1), ETE de Pariquera-Açu. Legenda: M (saída das anaeróbias), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Para a saída da **lagoa facultativa com chicanas 1 (SF1)**, os três primeiros fatores somaram 92% do total de variância. As variáveis que estiveram relacionadas entre si (significativas), para o fator 1, que contribuiu com 51% da variância total, foram condutividade média, fósforo total, dióxido de carbônico livre, concentração máxima de oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, temperatura média, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbônico total e carbono inorgânico (Tabela 64).

Para o fator 2, que contribuiu com 33% da variância total, as variáveis significativas foram variação de condutividade, variação de temperatura entre a superfície e o fundo, termoclina média, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos orgânicos, carbonato e demanda química de oxigênio. Para o fator 3, que contribuiu com 8% da variância, apenas o nitrito foi significativo.

Tabela 65 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), na ETE de Pariquera-Açu (n: 10).

Fatores	1	2	3
Nitrito	0,244	-0,022	-0,833
Condutividade média	0,768	0,024	0,562
VTSF	-0,015	0,825	0,463
Termoclina média	0,098	0,790	0,436
Sólidos suspensos totais	0,047	-0,907	0,221
Fósforo total	0,975	-0,074	0,170
Sólidos suspensos orgânicos	-0,086	-0,901	0,164
Carbonato	0,063	0,882	-0,140
Dióxido de carbono livre	0,747	-0,593	0,136
Variação de condutividade	-0,084	-0,955	0,127
Demanda química de oxigênio	0,277	-0,931	0,124
Oxigênio dissolvido	-0,776	0,524	0,077
Nitrogênio amoniacal	0,954	0,265	-0,076
Nitrogênio total Kjeldhal	0,954	0,142	-0,062
Temperatura média	-0,713	-0,674	0,040
Alcalinidade	0,970	0,210	-0,036
Bicarbonato	0,971	0,206	-0,035
Dióxido de carbono total	0,996	0,059	0,003
Carbono inorgânico	0,996	0,059	0,003
Porcentagem total de variância	51	33	8

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas.

Conforme a Figura 89, para o fator 1, foram formados três grupos, sendo um formado pelas amostragem de setembro/05 e janeiro/06, outro pela amostragem de julho/06; e o último pela de abril/06. Estes agrupamentos evidenciaram que em setembro/05 e janeiro/06 as variações foram semelhantes, com relação à condutividade média, fósforo total, dióxido de carbônico livre, concentração máxima de oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, temperatura média, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbônico total e carbono inorgânico. Estas variáveis foram responsáveis pelas diferenças obtidas nos outros dois períodos de coleta.

Figura 89 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõe o fator 1, na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), ETE de Pariquera-Açu. Legenda: F1 (saída da facultativa 1), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Com relação ao fator 2 (Figura 90), também foram formados três grupos, porém em nenhum dos grupos os três dias de uma mesma coleta estiveram presentes, o que evidencia variação diária. No primeiro grupo, foram semelhantes o 1º e 3º dias da coleta de julho/06 e o 2º dia da coleta de setembro/05. No segundo grupo, estiveram agrupados os 1º e 3º dias da coleta de janeiro/06 e o 2º da coleta de julho/06. E no terceiro, o 1º e 3º dias da coleta de setembro/05, o 2º da de janeiro/06 e o 3º dia da coleta de abril/06. Tais agrupamentos evidenciaram comportamento distinto entre variação de condutividade, variação de temperatura entre a superfície e o fundo, termoclina média, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos orgânicos, carbonato e demanda química de oxigênio, nos diferentes dias de uma mesma coleta. Estes agrupamentos parecem ter sido influenciados pelas diferentes condições climáticas, nos diferentes dias de uma mesma época do ano, para todos os períodos de coleta.

Figura 90 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõe o fator 2, na saída da lagoa facultativa 1 (SF1), ETE de Pariquera-Açu. Legenda: F1 (saída da facultativa 1), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Para a saída da **lagoa facultativa com chicanas 2 (SF2)**, os três primeiros foram responsáveis, juntos, por 88% da variância total (Tabela 65). As variáveis significativas, com relação ao fator 1, que contribuiu com 54% da variância, foram condutividade média, termoclina média, temperatura média, fósforo total, dióxido de carbono total, carbono inorgânico, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, bicarbonato e alcalinidade.

Com relação ao fator 2, que contribuiu com 28% da variância, as variáveis significativas foram sólidos suspensos orgânicos, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, concentração máxima de oxigênio dissolvido, variação de condutividade. Para o fator 3, que contribuiu com 6% da variância, apenas o carbonato foi significativo.

Tabela 66 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa 2 (SF2), na ETE de Pariquera-Açu.

Fatores	1	2	3
Carbonato	0,335	-0,539	-0,744
Condutividade média	0,755	0,082	0,458
Sólidos suspensos orgânicos	0,222	0,893	-0,292
Termoclina média	0,745	-0,406	0,245
Sólidos suspensos totais	0,180	0,893	-0,240
Temperatura média	-0,779	0,539	0,179
Demanda química de oxigênio	-0,112	0,905	0,172
Fósforo total	0,950	0,241	-0,142
Dióxido de carbono total	0,973	0,148	0,117
Carbono inorgânico	0,973	0,148	0,117
Nitrogênio total Kjeldahl	0,977	0,014	-0,077
Oxigênio dissolvido	0,160	-0,793	0,073
Variação de condutividade	-0,105	0,893	-0,028
Nitrogênio amoniacal	0,980	-0,013	0,028
Bicarbonato	0,988	0,043	0,014
Alcalinidade	0,989	0,040	0,010
Porcentagem total de variância	54	28	6

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas.

Como na Figura 91, dois grupos iguais foram formados para os fatores 1 e 2. Um grupo foi composto pela coleta de julho/06; e outro, pelas coletas de setembro/05, janeiro/06 e abril/06. Esses agrupamentos evidenciaram que em julho/06, as variáveis ambientais que compõem os fatores 1 e 2 – condutividade média, termoclina média, temperatura média, fósforo total, dióxido de carbono total, carbono inorgânico, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, bicarbonato, alcalinidade, sólidos suspensos orgânicos, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, concentração máxima de oxigênio dissolvido, variação de condutividade – apresentaram variações únicas, em relação às demais coletas.

Figura 91 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fatores 1 e 2, na saída da lagoa facultativa 2 (SF2), ETE de Pariquera-Açu. Legenda: F2 (saída da lagoa facultativa), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

5.6.2. ETE de Jacupiranga

- **Relação entre os perfis**

Na avaliação da relação entre os perfis da ETE de Jacupiranga, através da ANOVA, a as diferentes lagoas não foram consideradas distintas, pois não houve variação significativa entre elas, ou seja, pois o valor de *Wilks' Lambda* foi maior que 0,05 (0,817). Após este teste, as diferentes épocas do ano foram avaliadas e, como o *Wilks' Lambda* foi menor que 0,05 (0,005), considerou-se a sazonalidade significativa, indicando que houve agrupamentos

diferentes para cada período de coleta. Por isso, a variável profundidade foi testada, separadamente para setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06.

Os testes entre as diferentes profundidades, em cada coleta, foram considerados não significativos, pois o *Wilks' Lambda* foi maior que 0,05 para todas as coletas sendo 0,407; 0,437; 0,214 e 0,126, em setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06, respectivamente. Já que apenas a sazonalidade foi significativa, a PCA foi rodada para cada coleta separadamente. A relação entre os perfis, nas quatro épocas do ano, está descrita a seguir.

Testes foram feitos com os diferentes dias de coleta, mas foram considerados não significativos, ou seja, não houve distinção entre perfis, nos diferentes dias de uma mesma coleta, já que, os valores de *Wilks' Lambda* foram maiores que 0,05 (0,715; 0,100; 0,627 e 0,683, em setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06, respectivamente).

Conforme a Tabela 66, na PCA, em setembro/05, os resultados de pH não foram considerados, já que esta foi a época do ano em que o eletrodo que mede pH estava com problema. Variáveis significativas foram observadas nos dois primeiros fatores, os quais somaram 97% da variância total. Nesta época do ano, houve relação entre os perfis de oxigênio dissolvido e os de temperatura, já que estes foram significativos no fator 1, que contribuiu com maior porcentagem de variância (63% da variância total). Para os perfis de condutividade elétrica, foi observado comportamento diferente, já que esta variável foi significativa no fator 2, que contribuiu com 34% da variância total.

Em janeiro/06, variáveis significativas foram observadas nos dois primeiros fatores, que somaram 88% da variância total. Ao analisar o fator 1, cuja combinação de variáveis contribuiu com 66% da variância total, observou-se que houve relação entre os perfis de oxigênio dissolvido, temperatura e os de pH. Para o fator 2, que contribuiu com 22% de variância, a variável significativa foi a condutividade elétrica.

Em abril/06, as variáveis significativas foram observadas apenas no fator 1. A temperatura foi considerada variável não significativa, já que sua carga foi menor que 0,7 para os três primeiros fatores e por isso foi descartada na análise da PCA. Os dois primeiros fatores somaram 96% do total de variância. Ao analisar o fator 1, que contribuiu com 81% de variância, observou-se que houve relação entre os perfis de oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica.

Em julho/06, as variáveis significativas foram observadas nos dois primeiros fatores, que somaram 96% do total de variância. Ao analisar o fator 1, que contribuiu com 64% de variância, observou-se relação entre os perfis de oxigênio dissolvido, temperatura e pH. Comportamento diferente foi observado para os perfis de condutividade elétrica, já que este foi significativo no fator 2, que contribuiu com 32% de variância.

Tabela 67 - Variáveis significativas de perfis, nas quatro épocas do ano, na ETE de Jacupiranga.

Época do ano	Fatores	OD	pH	T	Condutividade elétrica	% total de variância
Set/05	1	0,978	*	0,952	-0,199	63
	2	-0,024	*	0,229	0,979	34
Jan/06	1	0,918	0,897	0,862	0,486	66
	2	0,288	0,200	-0,027	-0,865	22
Abr/06	1	0,918	0,955	NS	-0,824	81
	2	0,335	0,164	NS	0,564	15
Jul/06	1	0,947	0,897	0,912	0,091	64
	2	-0,054	-0,400	0,350	0,992	32

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas. * não mensurado nesta época do ano. NS: variável não significativa.

- **Qualidade do efluente**

Na avaliação da qualidade do efluente da ETE de Jacupiranga, através da ANOVA, as variáveis medidas nas diferentes lagoas geraram matriz singular, ou seja, houve duas ou mais variáveis ambientais com valores próximos ou iguais. O mesmo ocorreu ao testar as quatro épocas do ano. Quando a demanda química de oxigênio e a VTSF foram retiradas e a ANOVA foi testada para as diferentes lagoas, a matriz não foi singular. Para este teste o valor de *Wilks' Lambda* foi menor que 0,05 (0,004), indicando que houve agrupamentos diferentes para cada lagoa, em relação à sazonalidade e à variação diária. Por isso, as diferentes épocas do ano foram testadas, separadamente, para saída da lagoa aerada (M2) e saída da lagoa facultativa convencional (SF).

Nos testes das diferentes épocas do ano, a matriz resultante foi singular, o que significa que duas ou mais variáveis possuíam valores iguais ou próximos, e, dessa forma não foi possível observar, através do ANOVA, se as diferentes épocas do ano foram significativas. Em vez de separar em diferentes planilhas, com variáveis que não tornasse a matriz singular, optou-se por rodar a PCA com todas as variáveis que expressam qualidade do efluente, mensuradas em setembro/05, janeiro/06, abril/06 e julho/06. Tal fato não prejudicou a avaliação sazonal, já que a mesma pôde ser observada nos gráficos gerados pela PCA, através dos diferentes agrupamentos.

Para a PCA, com variáveis mensuradas principalmente na saída da **lagoa aerada** (M2), os três primeiros fatores somaram 95% do total de variância. As variáveis significativas, com relação ao fator 1, que contribuiu com 77% da variância, foram dióxido de carbono livre, nitrogênio amoniacal, variação de condutividade, nitrogênio total Kjeldahl, alcalinidade, bicarbonato, termoclina média, dióxido de carbono total e carbono inorgânico. Com relação ao fator 2, que contribuiu com 13% da variância, a variável significativa foi o carbonato. Para o fator 3, que contribuiu com 5% da variância, a variância significativa foi o oxigênio dissolvido (Tabela 67).

Tabela 68 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa aerada (M2), na ETE de Jacupiranga.

Fatores	1	2	3
Carbonato	-0,290	0,950	-0,023
Dióxido de carbono livre	0,748	-0,660	0,032
Oxigênio dissolvido	-0,619	0,057	0,770
Nitrogênio amoniacal	0,944	0,181	0,159
Variação de condutividade	0,880	0,205	0,142
Nitrogênio total Kjeldahl	0,965	-0,076	0,117
Alcalinidade	0,990	0,094	0,057
Bicarbonato	0,994	0,058	0,056
Termoclina média	0,912	0,203	-0,052
Dióxido de carbono total	0,990	-0,120	0,044
Carbono inorgânico	0,991	-0,120	0,044
Porcentagem total de variância	77	13	5

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas.

Dois grupos foram formados com relação ao fator 1 (Figura 92). Um composto pelas coletas de julho/06 e outros pelas outras épocas do ano. Estes dois agrupamentos evidenciaram que houve diferença de comportamento entre julho/06 e as outras épocas do ano, com relação a dióxido de carbono livre, nitrogênio amoniacal, variação de condutividade, nitrogênio total Kjeldahl, alcalinidade, bicarbonato, termoclina média, dióxido de carbono total e carbono inorgânico.

Com relação ao fator 2, três grupos foram formados (Figura 93). Um grupo foi formado pela coleta de julho/06, outro pelo segundo e terceiro dias de janeiro/06 e outro com o primeiro dia de janeiro/06, a coleta de setembro/06 e de abril/06. Tal agrupamento evidencia diferença entre as coletas de julho/06 e dois dias de janeiro/06 e destes e as outras coletas, com relação a carbonato.

Na PCA das variáveis mensuradas na **lagoa facultativa convencional** (SF), os três primeiros fatores somaram 85% do total de variância. Para o primeiro fator, que contribuiu com 50% da variância, as variáveis significativas foram condutividade média, nitrogênio total Kjeldahl, dióxido de carbono livre, nitrogênio amoniacal, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbono total e carbono inorgânico. Com relação ao fator 2, que contribuiu com 25% da

variância total, as variáveis significativas foram nitrito, temperatura média, sólidos suspensos totais, orgânicos e inorgânicos e nitrato. Para o fator 3, que contribuiu com 10% da variância, o oxigênio dissolvido foi significativo (Tabela 68).

Com relação ao fator 1, dois grupos foram formados (Figura 94). Um foi composto pela coleta de julho/06 e outro pelas outras épocas do ano, exceto segundo dia em janeiro/06. Tal agrupamento evidencia que a coleta de julho/06 foi diferente das outras, com relação a condutividade média, nitrogênio total Kjeldahl, dióxido de carbono livre, nitrogênio amoniacal, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbono total e carbono inorgânico.

Figura 92 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 1, na saída da lagoa aerada (M2), ETE de Jacupiranga. Legenda: M (saída da lagoa aerada), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Figura 93 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 2, na saída da lagoa aerada (M2), ETE de Jacupiranga. Legenda: M (saída da lagoa aerada), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Tabela 69 - Variáveis significativas, para dados de efluentes na saída da lagoa facultativa convencional (SF), na ETE de Jacupiranga.

Fatores	1	2	3
Oxigênio dissolvido	0,083	0,132	-0,917
Condutividade média	0,767	0,282	0,447
Nitrito	-0,150	-0,721	-0,385
Nitrogênio total Kjeldahl	0,754	0,048	0,259
Dióxido de carbono livre	0,753	0,120	0,189
Temperatura média	-0,547	-0,746	0,183
Nitrogênio amoniacal	0,939	0,144	-0,166
Alcalinidade	0,940	0,146	-0,144
Sólidos suspensos totais	0,450	-0,851	0,120
Sólidos suspensos orgânicos	0,495	-0,803	0,114
Nitrato	0,401	-0,784	-0,088
Bicarbonato	0,986	0,126	-0,061
Sólidos suspensos inorgânicos	0,288	-0,875	0,032
Dióxido de carbono total	0,964	0,072	0,005
Carbono inorgânico	0,964	0,072	0,004
Porcentagem total de variância	50	25	10

Os números em vermelho correspondem às variáveis significativas.

Figura 94 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 1, na saída da lagoa facultativa convencional (SF), ETE de Jacupiranga. Legenda: F (saída da lagoa facultativa convencional), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

Com relação ao fator 2, também dois grupos foram formados (Figura 95). Um grupo foi formado pela coleta de julho/06 e segundo dia da coleta de janeiro/06. O outro foi formado pelos outros dias e época do ano, exceto primeiro dia em janeiro/06. Tal agrupamento evidencia diferença entre a coleta de julho/06 e as outras épocas do ano, com relação a nitrito, temperatura média, sólidos suspensos totais, orgânicos e inorgânicos e nitrato. Também evidencia diferença, para estas variáveis, entre os três dias em janeiro/06.

Figura 95 - Agrupamentos de coletas e dias, com relação às variáveis que compõem os fator 2, na saída da lagoa facultativa convencional (SF), ETE de Jacupiranga. Legenda: F (saída da lagoa facultativa convencional), d1 (1º dia), d2, (2º dia), d3 (3º dia), c1 (setembro/05), c2 (janeiro/06), c3 (abril/06) e c4 (julho/06).

6. DISCUSSÃO

O afluentes doméstico nas duas ETEs foi classificado, predominantemente, entre fraco e médio (Tabela 5), segundo Metcalf e Eddy (2003), de acordo com as concentrações de nitrogênio total Kjeldahl (em média 33 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 35 mg.L^{-1} , em Jacupiranga), sólidos suspensos orgânicos, em Jacupiranga (132 mg.L^{-1}), inorgânicos, em Pariquera-Açu (48 mg.L^{-1}) e sólidos suspensos totais (158 mg.L^{-1} , nos dois sistemas). Quanto às concentrações de fósforo total, o afluentes foi predominantemente fraco tanto em Pariquera-Açu ($4,0 \text{ mg.L}^{-1}$) como em Jacupiranga ($4,5 \text{ mg.L}^{-1}$). Isto também ocorreu com as concentrações de sólidos suspensos orgânicos, em Pariquera-Açu (109 mg.L^{-1}), e sólidos suspensos inorgânicos, em Jacupiranga (48 mg.L^{-1}). A faixa de DQO esteve predominantemente abaixo do limite considerado fraco (128 mg.L^{-1} , em Pariquera-Açu e 126 mg.L^{-1} , em Jacupiranga). Assim, o afluentes dos dois sistemas do Vale do Ribeira esteve diluído para as concentrações de DQO, variável que expressa matéria orgânica e que é a principal a ser degradada em lagoas de estabilização. Porém para nutrientes, esteve, em geral, entre médio e fraco.

Por outro lado, considerando-se as concentrações em cada época do ano, variações importantes foram observadas. Como por exemplo, as concentrações de fósforo total em janeiro/06 e abril/06 (entre $2,0$ e $3,6 \text{ mg.L}^{-1}$), nos dois sistemas, que estiveram abaixo do limite considerado como fraco, enquanto que em setembro/05 e julho/06 (entre $4,3$ e $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$), estiveram ligeiramente acima, entre fraco e médio. As concentrações de sólidos suspensos inorgânicos estiveram entre médio e forte, em janeiro/06 (75 mg.L^{-1}), na ETE de Pariquera-Açu, e, menores nas demais épocas do ano (entre 34 e 40 mg.L^{-1}), entre fraco e médio. Esta variação sazonal de qualidade do afluentes pode ter refletido na variação sazonal

de funcionamento dos dois sistemas.

O esgoto doméstico afluyente nas estações de tratamento pode ser proveniente tanto de sistemas combinados quanto de sistemas separação absoluta. Dependendo da forma como o esgoto é coletado nas residências, espera-se uma faixa específica de concentrações de variáveis químicas no afluyente bruto das ETEs. O esgoto, nas duas ETEs estudadas, se enquadrou nas faixas esperadas para afluentes domésticos de sistema com separação absoluta (Tabela 2), conforme Metcalf e Eddy (2003), quanto às concentrações de sólidos suspensos totais, nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total, de modo que as concentrações de sólidos suspensos totais (entre 92 e 201 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu; entre 115 e 267 mg.L⁻¹, em Jacupiranga) e nitrogênio total Kjeldahl (entre 22 e 50 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu ; entre 20 e 61 mg.L⁻¹, em Jacupiranga) estiveram dentro do esperado para sistemas de separação absoluta, nos dois sistemas, na maioria das épocas do ano.

Porém, para a DQO, as concentrações estiveram abaixo das concentrações que caracterizam tanto o sistema combinado, quanto o de separação absoluta. As concentrações de fósforo total estiveram na faixa esperada em setembro/05 e julho/06 (entre 4,3 e 6,5 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu; entre 5,1 e 5,8 mg.L⁻¹, em Jacupiranga), nos dois sistemas, e fora dela nas outras épocas do ano (entre 2,0 e 2,4 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu; entre 3,4 e 3,6 mg.L⁻¹, em Jacupiranga). Por outro lado, a DQO esteve abaixo da faixa sugerida, na maioria das épocas do ano, nos dois sistemas (entre 46 e 193 mgO₂.L⁻¹, em Pariquera-Açu; entre 26 e 393 mgO₂.L⁻¹, em Jacupiranga). Assim, para estas faixas de concentrações, a DQO também esteve diluída e fora dos padrões observados para afluyente.

UNEP (2004) também apresentou faixas de concentrações de sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), DQO e fósforo total (PT) que caracterizam esgoto doméstico bruto (Tabela 1). As concentrações de sólidos suspensos totais, em Pariquera-Açu, e de nitrogênio total Kjeldahl, em Jacupiranga estiveram dentro da faixa, na maioria das

épocas do ano (exceto em setembro/05 e janeiro/06, respectivamente). As concentrações de fósforo nos dois sistemas (entre 4,3 mg.L⁻¹, em setembro/05, na ETE de Pariquera-Açu e 6,5 mg.L⁻¹, em julho/06, na ETE de Pariquera-Açu), as de nitrogênio total Kjeldahl, em Pariquera-Açu (entre 30 mg.L⁻¹, em setembro/05 e 45 mg.L⁻¹, em julho/06) e as de sólidos suspensos totais, em Jacupiranga (entre 170 mg.L⁻¹, em julho/06 e 173 mg.L⁻¹, em setembro/05) estiveram dentro desta faixa apenas em setembro/05 e julho/06. Por outro lado, a DQO esteve abaixo da faixa, na maioria das épocas do ano, nos dois sistemas. Assim, também para estas faixas, os sistemas do Vale do Ribeira receberam esgoto diluído, com relação às concentrações de matéria orgânica (DQO), porém quanto às concentrações de nutrientes e sólidos suspensos, esteve de acordo com os afluentes que geraram estas faixas de concentrações, principalmente em setembro/05 e julho/06.

Oliveira e von Sperling (2005) analisaram diferentes concentrações de variáveis que caracterizam esgoto afluente nas estações de tratamento nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, e as compararam com faixas encontradas na literatura, para DQO, SST, fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl (Tabela 3). No presente trabalho, as concentrações de DQO e SST estiveram abaixo do que foi observado pelos autores nas quatro épocas do ano. Dessa forma, estas concentrações estiveram mais diluídas que a maioria dos afluentes analisados experimentalmente nos sistemas de tratamento de São Paulo e Minas Gerais.

Por outro lado, as concentrações de fósforo total estiveram dentro das faixas observadas experimentalmente pelos autores, nas quatro épocas do ano, porém abaixo das faixas observadas na literatura, pelos autores, em janeiro/06 e abril/06. As concentrações de nitrogênio total Kjeldahl estiveram abaixo das faixas observadas e das presentes na literatura, nos dois sistemas e na maioria das épocas do ano. Assim, as concentrações de fósforo total, em geral, estiveram de acordo com as concentrações da maioria dos afluentes das estações de tratamento localizadas em São Paulo e Minas Gerais, porém as de nitrogênio total Kjeldahl

estiveram abaixo.

Assim, para as características do esgoto afluyente, nas duas estações de tratamento, as concentrações de sólidos suspensos totais e nitrogênio total Kjeldahl se enquadraram às faixas apresentadas por Metcalf e Eddy (2003), enquanto que as de fósforo total, às observadas experimentalmente por Oliveira e von Sperling (2005). A DQO, inesperadamente, esteve abaixo de todas as faixas citadas anteriormente, para os dois sistemas, ou seja, de acordo com esta variável, que é uma das mais importantes para expressar o teor de matéria orgânica, os dois sistemas estiveram, durante o período de estudo, fora dos padrões que caracterizam esgoto bruto doméstico.

Ao comparar o afluyente bruto dos dois sistemas com outro sistema australiano, localizado em Novo Horizonte, estado de São Paulo, as concentrações de DQO, SST, SSO, fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl no afluyente das ETEs do Vale do Ribeira foram menores (Tabela 4). Apenas as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos estiveram próximas (entre 20 e 75 mg.L⁻¹, no Vale do Ribeira e entre 36 e 52 mg.L⁻¹, em Novo Horizonte), ao comparar os resultados desta pesquisa com Falco (2005).

Além dessas diferenças, as faixas que se adequaram aos sistemas do Vale do Ribeira não foram as mesmas para o sistema de Novo Horizonte. As concentrações de DQO e SST foram semelhante às observadas por Oliveira e von Sperling (2005) e as de NTK e fósforo total estiveram acima das propostas por Oliveira e von Sperling (2005) e Metcalf e Eddy (2003). Assim, como os sistemas localizados em diferentes regiões não se enquadraram em faixas semelhantes, não se pode concluir que houve um padrão que caracterize afluyente de diferentes sistemas de lagoas de estabilização localizadas no Estado de São Paulo.

Nos sistemas do Vale do Ribeira, variação sazonal foi observada, através de análise estatística (PCA), para as variáveis que compõem o fator 1. Esta variação sazonal ocorreu para variáveis semelhantes, nos dois sistemas, tais como alcalinidade, bicarbonato, nitrogênio

amoniaco, nitrogênio total, fósforo total, carbono inorgânico, dióxido de carbono total e fósforo total. Assim, as condições climáticas parecem ter influenciado a qualidade do afluente, através de alterações nas concentrações das variáveis citadas. Tal fato permite concluir que a mensuração em escala sazonal da qualidade do afluente é importante, no estudo e avaliação do desempenho de lagoas de estabilização. Nesta pesquisa, a mensuração em escala diária foi importante para a formação de agrupamentos estatísticos e, conseqüentemente, análise da sazonalidade.

Dos sistemas convencionais de lagoas de estabilização aquele que mais se aproximou do sistema de Pariquera-Açu foi o sistema australiano, já que possui lagoa anaeróbia seguida de facultativa. Dessa forma, a vazão, a eficiência, o tempo de detenção e o efluente do sistema de Pariquera-Açu foram comparados ao de sistemas australianos.

O sistema de Pariquera-Açu esteve com as vazões abaixo da média observada por Oliveira e von Sperling (2005), nos sistemas australianos localizados em São Paulo e Minas Gerais ($1793 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$), e acima da mínima ($173 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$). Neste sistema, as menores vazões foram observadas na facultativa 2 ($406 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$), em janeiro/06 e abril/06, enquanto que as maiores ($625,05 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$) nas saídas da facultativa 1 (janeiro/06, abril/06 e julho/06); e facultativa 2 (julho/06). Ao observar estas vazões, pode-se concluir que, em geral, a lagoa facultativa com chicanas 2, recebeu e tratou menor vazão de águas residuárias que a facultativa 1, sendo que, apenas em julho/06, as vazões foram semelhantes nas duas lagoas. Embora estas vazões estejam dentro das faixas observadas nas estações de tratamento em Minas Gerais e São Paulo, estas foram inesperadas, já que, ao compará-las às de projeto ($2896 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), elas estiveram bem abaixo da capacidade projetada (14% e 22%). Assim, pode-se concluir que este sistema suportaria crescimento populacional, ou maiores números de ligações de esgoto à estação de tratamento.

Ao comparar as vazões na saída da ETE de Pariquera-Açu, nos períodos abordados nesta pesquisa, entre $1032 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ e $1249 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, e as mensuradas pela SABESP em 2004 ($734 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$), pode-se observar que em 2004 as vazões foram menores, o que permite concluir que os números de ligação de esgoto entre o estabelecimento e as redes coletoras deve ter aumentado.

No sistema de Jacupiranga, a menor vazão foi observada em julho/06 ($222,78 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$), enquanto que a maior ($625,05 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$), nas outras épocas do ano. Ao comparar estas vazões medidas com as vazões de projeto ($2053 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$), pode-se concluir que atualmente o sistema trata entre 11% e 30% da capacidade máxima. Assim, como o sistema anterior, este também suportaria crescimento populacional ou maiores números de ligações de esgoto à estação de tratamento. Ressalta-se que a menor vazão observada em julho/06, pode ter sido resultante da necessidade de desvio de parte do esgoto, a fim de evitar mau odor na lagoa aerada, já que, nesta época do ano, os aeradores não estavam funcionando. Tal fato é relevante na medida em que em julho/06 a vazão diminuiu bastante neste sistema, enquanto que, no sistema de Pariquera-Açu, as vazões continuaram semelhantes às das outras épocas do ano.

Ao comparar as vazões na saída da ETE de Jacupiranga, entre $223 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ e $625 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, e as mensuradas pela SABESP em 2004 ($743 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$), nota-se que, diferentemente do sistema de Pariquera-Açu, as vazões em 2004 foram maiores. Assim, inesperadamente, os números de ligação de esgoto à rede coletora parecem não ter aumentado.

Ao comparar as vazões e precipitações, no sistema de Jacupiranga, a vazão na saída do sistema foi proporcional à precipitação mensal, sendo que em julho/06 a vazão e a precipitação (28,5 mm) foram menores que nas outras épocas do ano. Por outro lado, não se pôde observar proporcionalidade entre vazão e precipitação, no sistema de Pariquera-Açu, já que as vazões na saída do sistema foram, em geral, semelhantes, e a precipitação em julho/06 (41,4 mm) foi menor que nas outras épocas do ano. Assim, embora tenha havido esta

diferença, e considerando que parte da vazão em Jacupiranga pode ter sido desviada, ao observar a falta de relação entre precipitação e vazão em Pariquera-Açu, é provável que a precipitação tenha influência apenas momentânea sobre a precipitação, em lagoas de estabilização, ou seja, durante a precipitação e pouco tempo após, de forma que, ao observar o resultado em período de tempo mensal, esta influência não é observada.

As cargas de nutrientes, matéria orgânica e outras variáveis, nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), em geral, foram menores que as da lagoa aerada (ETE de Jacupiranga). A maior diferença entre as cargas ocorreu para fósforo total, que na lagoa aerada foi entre 71% e 118% maior que nas anaeróbias, exceto em julho/06, quando foi maior nas lagoas anaeróbias (5% maior). Nesta época do ano, as concentrações de DQO e nitrogênio total Kjeldahl também foram maiores nas anaeróbias (136 e 24% maiores, respectivamente).

Ao comparar as lagoas aeradas e as anaeróbias, em geral, espera-se que as lagoas aeradas sejam mais eficientes que as anaeróbias, já que nas primeiras há presença de oxigênio dissolvido para estas reações, enquanto que na anaeróbia, não. Porém, neste caso, as porcentagens de redução de nitrogênio total, DQO e sólidos suspensos totais, para a maioria das variáveis, em janeiro/06, abril/06 e julho/06, foram maiores nas lagoas anaeróbias. Esse fato pode ter ocorrido devido à falta de aeração na lagoa aerada inteira, já que estiveram funcionando no máximo dois aeradores, e à elevada carga de matéria orgânica - DQO entre 14% e 47% maior na lagoa aerada, exceto em julho/06, quando foi menor.

Oliveira e von Sperling (2005) apresentaram faixas de porcentagens de redução para DQO, sólidos suspensos totais, nitrogênio total e fósforo total, em sistemas australianos localizados no Estado de São Paulo (Tabela 5). Estas porcentagens foram comparadas aos do sistema de lagoas de Pariquera-Açu. Para a DQO (entre 13% e 56%), as porcentagens estiveram abaixo do valor mínimo citado pelos autores, nas quatro épocas do ano. Por outro lado, as porcentagens de redução de sólidos suspensos totais (entre 56% e 74%) e nitrogênio

total (entre 34% e 48%) estiveram dentro da faixa observada, nas quatro épocas do ano. As porcentagens de redução de fósforo total estiveram fora da faixa, na maioria das épocas do ano, sendo que estiveram dentro da faixa apenas em abril/05, na saída da facultativa 1 (46%) e em julho/06, na saída das duas facultativas (entre 32% e 35%); nas outras épocas do ano estiveram acima (59%, em setembro/05, nas duas lagoas) ou abaixo (entre 16% e 19%, nas outras épocas do ano) dos propostos pelos autores (op. cit).

Os mesmos autores citados acima apresentaram faixas de porcentagens de redução para as mesmas variáveis, encontradas na literatura (Tabela 6). No sistema de Pariquera-Açu, as porcentagens de redução de DQO estiveram abaixo destes valores. As porcentagens de redução de sólidos suspensos totais estiveram abaixo das citadas, na maioria das épocas do ano (entre 56% e 69%), exceto em julho/06 (entre 71% e 74%). As de nitrogênio total estiveram dentro da faixa, em todas as épocas do ano, assim como as de fósforo total, na maioria das épocas do ano (entre 16% e 35%), exceto em setembro/05, nas duas lagoas (59%) e abril/06, na saída da facultativa 1 (46%). Assim, de acordo com as faixas de eficiências esperadas pela literatura para sistemas australianos, apenas as eficiências de nutrientes foram satisfatórias.

Segundo von Sperling (1996a) e von Sperling (1996b), os sistemas australianos são capazes de remover de 30 a 50 % de nitrogênio total e de 20 a 60 % de fósforo total. Para Shilton e Harrison (2003), as lagoas de estabilização podem remover 45 % em média de fósforo total. Para essas faixas, a ETE de Pariquera-Açu atingiu a eficiência prevista.

Assim, na ETE de Pariquera-Açu, as porcentagens de redução de sólidos suspensos totais, se enquadraram na faixa observada experimentalmente por Oliveira e von Sperling (2005); as de nitrogênio total, nos valores obtidos experimentalmente e encontrados na literatura por Oliveira e von Sperling (2005), e nos apresentados por von Sperling (1996 a;b); as porcentagens de fósforo total foram semelhantes às citadas por von Sperling (1996 a;b); e

as de redução de DQO estiveram abaixo de todas as faixas observadas.

Ao comparar o sistema de Pariquera-Açu com o sistema australiano localizado em Novo Horizonte (Tabela 7) pesquisado por Falco (2005), observou-se que as porcentagens de redução de sólidos suspensos totais foram próximas, entre 42 e 84%, em Novo Horizonte e entre 56 e 74%, em Pariquera-Açu. As eficiências de fósforo total também foram semelhantes: entre 28 e 46%, em Novo Horizonte e entre 16 e 59%, em Pariquera-Açu. Por outro lado, as eficiências de DQO e nitrogênio total Kjeldahl foram menores em Pariquera-Açu (entre 13 e 56% e entre 34 e 48%, respectivamente) se comparado à Novo Horizonte (entre 69 e 83% e entre 41 e 65%, respectivamente). Assim, ao comparar eficiências nos dois sistemas, nota-se que eles apresentaram comportamentos semelhantes, embora as concentrações afluentes em Novo Horizonte tenham sido maiores, como citado anteriormente.

Para a eficiência, as faixas de eficiências para sistemas australianos observadas experimentalmente por Oliveira e von Sperling (2005) também se adequaram ao sistema de Novo Horizonte, assim como as propostas por von Sperling (1996a) e von Sperling (1996b), para nitrogênio total e fósforo total. Assim, estas faixas de eficiências refletiram adequadamente as eficiências de dois sistemas australianos localizados em regiões diferentes, o que as tornam importantes ferramentas para previsão de eficiências em lagoas de estabilização.

Com relação ao sistema de lagoa aerada seguida de facultativa (ETE de Jacupiranga), as porcentagens de redução de sólidos suspensos totais foram maiores que no australiano em setembro/06 (79%) - época em que os dois aeradores estavam funcionando - e em janeiro/06 (64%) e abril/06 (76%) - época em que um aerador estava funcionando. Porém, tal fato provavelmente não se deve à aeração, já que, em janeiro/06 (71%, nas anaeróbias e 65%, na aerada), abril/06 (79%, nas anaeróbias e 76%, na aerada) e julho/06 (67%, nas anaeróbias e 57%, na aerada) as porcentagens de redução na anaeróbia foram maiores que na aerada, como

mencionado anteriormente; e setembro/05, as porcentagens foram maiores na aerada (73%, nas anaeróbias e 85%, na aerada).

Também na ETE de Jacupiranga, as porcentagens de redução de fósforo total foram maiores na maioria das épocas do ano, exceto em abril/06 (39%, em Jacupiranga e entre em média 32%, em Pariquera-Açu); as de DQO foram maiores em setembro/05 (94%, em Jacupiranga e 47%, em Pariquera-Açu) e janeiro/06 (31%, em Jacupiranga e 16%, em Pariquera-Açu); e as de nitrogênio total foram maiores em setembro/05 (74%, em Jacupiranga e 46%, em Pariquera-Açu) e abril/06 (51%, em Jacupiranga e 45%, em Pariquera-Açu). Assim, pode-se concluir que dependendo da época do ano e da variável, a porcentagens de redução foi maior em um ou outro sistema, não havendo, dessa forma, um sistema que se comportou melhor que o outro.

Quanto aos tempos de detenção hidráulicos calculados com os volumes e vazão de projeto fornecidos pela SABESP para a lagoa anaeróbia (7282 m^3 , cada lagoa e $33,52 \text{ L.s}^{-1}$, a vazão total), estes foram iguais a 5 dias e estiveram de acordo com o tempo de detenção usual, para sistemas australianos, apresentada por Oliveira e von Sperling (2005), que compreende entre 3 e 6 dias. Porém, os tempos de detenção calculados com os volumes fornecidos pela SABESP, e vazões mensuradas, estiveram entre 12 dias (julho/06) e 14 dias (janeiro/06 e abril/06) e assim estiveram acima dos tempos de detenção usuais.

Por outro lado, os tempos de detenções hidráulicos teóricos, nas lagoas facultativas da ETE de Pariquera-Açu, considerando volumes de água medidos *in situ*, estiveram entre os usuais apresentados por Oliveira e von Sperling (2005), ou seja, entre 15 e 45 dias para lagoa facultativa de sistemas australianos. Os menores tempos de detenção hidráulicos calculados foram observados em janeiro/06, abril/06 e julho/06, na facultativa 1 e em julho/06 na facultativa 2 (20,1 dias), enquanto que os maiores, em janeiro/06 e abril/06, na facultativa 2 (30,9 dias). Vale ressaltar, que em abril/06 o tempo de detenção deve ter sido maior, pois a

lagoa não funcionou por algum tempo. Porém, este fato não foi abordado através da mensuração de vazão e cálculo do tempo de detenção, já que ambos foram mensurados no último dia de coleta, quando a lagoa já estava recebendo esgoto há dois dias e, dessa forma, seu nível de água já havia estabilizado. Na ETE de Jacupiranga, o intervalo de tempos de detenção foi maior: entre 17,7 dias (janeiro/06 e abril/06) e 49,7 dias (julho/06).

Ao comparar estes tempos de detenção hidráulicos com aqueles para a capacidade máxima (de projeto), observou-se que, nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), os tempos de detenção hidráulicos nas épocas de coleta foram de 9 a 19 dias maiores que o tempo de detenção hidráulico de projeto (11 dias). Na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), os tempos de detenção hidráulicos nas épocas de coleta foram de 18 a 44 dias maiores do que o de projeto (6 dias).

O maior tempo de detenção hidráulico observado em julho/06 (50 dias), na lagoa facultativa convencional (sistema de Jacupiranga), pode ter influenciado nas concentrações de clorofila *a*, que representam de forma indireta a biomassa de algas, já que nesta época do ano foram observadas maiores concentrações desta variável na saída da facultativa convencional ($522 \mu\text{g.L}^{-1}$), e menores no sistema de Pariquera-Açu ($138 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $191 \mu\text{g.L}^{-1}$, na saída das facultativas 1 e 2, respectivamente), cujo tempo de detenção foi 20 dias em cada lagoa facultativa.

Tal fato corrobora com Ceballos (2000) que explicou que tempos de detenção longos podem levar ao florescimento de algas. Além disso, ao comparar as lagoas facultativas dos dois sistemas, menores concentrações desta variável foram observadas na lagoa convencional, exceto em julho/06, provavelmente devido aos menores tempos de detenção que ocorreram nesta lagoa, nas três outras épocas do ano (17,7 dias, na lagoa convencional e entre 20 e 30 dias, nas lagoas com chicanas).

É importante ressaltar que, em abril/06, quando o sistema de lagoas de estabilização da ETE de Pariquera-Açu não funcionou por alguns dias, e por isso o tempo de detenção deve ter sido maior, as concentrações de clorofila *a*, nas lagoas facultativas com chicanas (530 e 569 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na saída das lagoas 1 e 2, respectivamente) e nas anaeróbias (176 $\mu\text{g.L}^{-1}$), não foram as maiores. Assim, apenas a quantidade de dias em que o sistema não funcionou pode não ter sido significativo para aumentar as concentrações de clorofila *a*.

Os volumes de água nas lagoas facultativas foram 78% e 89% dos valores aproximados considerados pela SABESP (16112 m^3 , na facultativa com chicanas 2 e 12368 m^3 , na convencional), na facultativa com chicanas 2 e convencional, respectivamente, ou seja, foram próximos. Os volumes de lodo não ocuparam parcela significativa do volume das lagoas, sendo que foram 1,7% e 2,6%, do volume total (água + lodo) na facultativa com chicanas 2 e convencional, respectivamente.

A distribuição de lodo nas duas lagoas foi diferente e refletiu a sedimentação de sólidos suspensos nas primeiras lagoas – anaeróbias e aerada (Figuras 20 e 21). Na lagoa facultativa convencional, nos primeiros 20 m, houve acúmulo de lodo de espessuras entre 0,05 m e 0,20 m, enquanto que na lagoa facultativa com chicanas, nos primeiros 20 m houve predomínio de espessura de lodo menor (0,02 m). Tal fato evidencia que na lagoa facultativa convencional ainda houve sedimentação nos primeiros 20 m de sólidos em suspensão provenientes da na lagoa aerada, enquanto que na lagoa facultativa com chicanas, os sólidos sedimentaram nas lagoas anaeróbias, por isso a espessura do lodo na facultativa com chicanas foi menor. Dessa forma, como esperado, na lagoa aerada os sólidos suspensos parecem não ter sedimentado completamente.

Nas lagoas anaeróbias, os sólidos suspensos sedimentam por gravidade e são degradados de forma anaeróbia na camada ao fundo (GAWASIRI, 2003). A sedimentação nas lagoas anaeróbias reduziu entre 67% (julho/06) e 79% (abril/06) as concentrações de sólidos

suspensos totais. Em Jacupiranga, embora na batimetria tenha detectado sedimentação na lagoa facultativa, a sedimentação na lagoa aerada também foi elevada com redução de sólidos entre 58% (julho/06) e 87% (setembro/05), independentemente do funcionamento ou não dos aeradores. Quando a sedimentação é observada neste tipo de lagoa, a mesma funciona como facultativa, ou seja, a quantidade de energia introduzida pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos orgânicos dispersos na massa líquida. Nesse caso, tais sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo, a ser decomposta anaerobiamente (VON SPERLING, 1996b).

Uma hipótese para explicar esta elevada sedimentação nas lagoas aeradas é a ocorrência de aeração em apenas parte da lagoa. Desta forma, a sedimentação ocorreu onde a energia dos aeradores não alcançou. Outra hipótese para explicar os elevados valores de sedimentação obtidos nesta lagoa seria a ação insuficiente dos aeradores para misturar a coluna de água, inclusive na região que recebeu sua energia.

Considerando a primeira hipótese como verdadeira, a lagoa aerada da ETE de Jacupiranga poderia ser caracterizada como aerada com mistura completa na região dos aeradores e sem aeração e com sedimentação, na outra região. Por outro lado, se a segunda hipótese for verdadeira, a lagoa poderia ser classificada como aerada facultativa na região dos aeradores e sem aeração e com sedimentação, na outra região.

Com relação à qualidade do efluente, as concentrações de nitrogênio amoniacal, nos dois sistemas de lagoas, em geral, atenderam a legislação brasileira para lançamento de efluente, Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), já que estiveram abaixo de 20 mg.L^{-1} , exceto em julho/06, quando foram 25 mg.L^{-1} , em média, na ETE de Pariquera-Açu e na de Jacupiranga.

Nas lagoas anaeróbias, houve redução de nitrogênio amoniacal, em todas as épocas do ano, enquanto que aumento, na aerada, em julho/06, quando os aeradores não estavam

funcionando. Sob condições anaeróbias, o nitrogênio orgânico é transformado em nitrogênio amoniacal, através da amonificação por bactéria (MIETTINEN et al., 2004; CHERNICHARO, 1997). O consumo desta variável ocorre por bactérias, em geral, para produção de novas células (METCALF e EDDY, 2003). Assim, uma das situações seria a produção de amônio ter sido maior que o consumo, em julho/06, na lagoa aerada, enquanto que nas lagoas anaeróbias ter ocorrido o inverso. Porém, devido à coleta ter ocorrido na superfície da lagoa aerada e termos detectado aumento nas concentrações de nitrogênio amoniacal e de fosfato inorgânico, outra hipótese seria a ocorrência de degradação aeróbia na superfície desta lagoa, devido à presença de algas na superfície, embora a concentração de clorofila *a* tenha sido menor que nas épocas do ano.

Nas outras épocas do ano, quando um ou dois aeradores estavam funcionando na lagoa aerada houve redução de nitrogênio amoniacal, assim como nas anaeróbias. Na lagoa anaeróbia, a produção de amônio pode ter sido menor que o consumo por bactérias para produção de novas células. Na lagoa aerada, além de uma redução na produção de nitrogênio amoniacal, devido às condições aeróbias em parte da lagoa (onde os aeradores estavam aerando) e assimilação pelas bactérias para produção de novas células, pode ter ocorrido diminuição da fotossíntese devido à ação dos aeradores, conforme a segunda hipótese, descrita anteriormente.

Nas três lagoas facultativas houve redução de nitrogênio amoniacal. O mecanismo mais significativo para a redução do nitrogênio amoniacal, nas lagoas facultativas, deve ter sido assimilação e transformação em nitrogênio orgânico e sedimentação, corroborando com Mara e Person (1986) e Valero e Mara (2007), embora os valores de pH tenham sido menores que os observados naquelas pesquisas. Além disso, o consumo de nitrogênio amoniacal ocorre por bactérias, em geral, para produção de novas células (METCALF e EDDY, 2003), o que pode ter ocorrido em grande intensidade, também, nas três lagoas facultativas.

A volatilização de amônia, que ocorre sob elevados valores de pH (em torno de 9,5 ou 10) e assim reduz as concentrações de nitrogênio amoniacal (VON SPERLING, 1996b; KONIG et al., 1987), em geral, não deve ter ocorrido, já que os valores de pH, nos horários amostrados, alcançaram no máximo 8,58 (em janeiro/06, na superfície da facultativa convencional e da com chicanas 2). Apenas em abril/06, os valores de pH foram mais altos nas três lagoas, e alcançaram, na superfície, valores máximos de 9,44 (facultativa convencional), 9,63 (facultativa com chicanas 1) e 9,64 (facultativa com chicanas 2). Nesta época do ano é provável que a volatilização nas três lagoas tenha ocorrido, já que também foram observadas as maiores eficiências para esta variável (65%, facultativa com chicanas 1 e 2 e 33%, facultativa convencional).

A produção de nitrogênio amoniacal, nas lagoas facultativas, ocorre por oxidação realizada pelas bactérias aeróbias, que além de converter matéria orgânica em gás carbônico, a converte juntamente em amônio e fosfatos (KÖNIG, 2000). Os mecanismos de assimilação de nitrogênio amoniacal provavelmente ocorreram em maior taxa que a produção por bactérias aeróbias, já que, como resultado final, houve redução de nitrogênio amoniacal, nas três lagoas facultativas, nas quatro épocas do ano.

Outras formas relevantes de nitrogênio analisada em lagoas de estabilização foram nitrito e nitrato. Nas duas lagoas anaeróbias e na aerada houve redução de nitrato, sendo que nas anaeróbias, esta foi maior. Em ambientes anóxicos, ocorre a desnitrificação que consiste em redução de nitrato a nitrogênio gasoso por bactérias facultativas (MARA; PERSON, 1986; ASCE, 2005; CHERNICHARO, 1997; MIETTINEN et al., 2004; WETZEL, 1993). Assim, nas lagoas anaeróbias e em parte da aerada (na parte em que não esteve aerada) a redução de nitrato pode ter ocorrido por desnitrificação. A menor redução de nitrato na lagoa aerada não se justificaria por produção de nitrato na parte aerada, já que, segundo Metcalf e Eddy (2003),

tanto na lagoa aerada facultativa, quanto na aerada aeróbia de fluxo contínuo, a nitrificação é improvável de ocorrer.

Na lagoa facultativa convencional, houve aumento das concentrações de nitrato, em todas as épocas do ano, assim como na lagoa com chicanas 1, em setembro/05 e janeiro/06; e na com chicanas 2, em setembro/05. Segundo Mara e Person (1986), é provável que a nitrificação em lagoas de estabilização seja mínima. Para Metcalf e Eddy (1991) e Patrick e Paul (1997), nitrificação pode ocorrer sob longos tempos de detenção. Ressalta-se que os tempos de detenção destes sistemas foram em média 20 dias, e quando o sistema de Pariquera-Açu não estava funcionando por algum tempo, provavelmente os tempos de detenção foram maiores, as lagoas facultativas com chicanas reduziram maiores porcentagens de nitrato (50%). Assim, não se pode afirmar que o aumento de nitrato nas três lagoas facultativas tenha ocorrido por nitrificação.

Com relação aos efluentes, Na ETE de Pariquera-Açu, as concentrações de nitrogênio Kjeldahl e fósforo total se enquadraram nas faixas encontradas na literatura (Oliveira e von Sperling, 2005), conforme a Tabela 9, com exceção de julho/06 (entre 27 e 33 mg.L⁻¹, para nitrogênio Kjeldahl e entre 4,2 e 4,4 mg.L⁻¹, para fósforo total); nas outras épocas do ano (entre 13 e 17 mg.L⁻¹, para nitrogênio Kjeldahl e 1,1 e 2,0 mg.L⁻¹, para fósforo total) as concentrações estiveram abaixo daquelas observadas pelos autores. As concentrações de sólidos suspensos totais, apenas estiveram de acordo com o citado em literatura, em janeiro/06, (72%, em média) e em julho/06, na saída da facultativa 2 (60%); nas outras épocas do ano, as concentrações estiveram abaixo das faixas da literatura e observadas (entre 40 e 53 mg.L⁻¹). E as concentrações de DQO se enquadraram apenas em janeiro/06, na lagoa 1 (123 mg.L⁻¹), na faixa obtida na literatura; nas outras épocas do ano, estiveram abaixo das faixas observadas e obtidas na literatura (entre 24 e 114 mg.L⁻¹).

Assim, pode-se concluir que a qualidade do efluente da ETE de Pariquera-Açu esteve,

em geral, com concentrações abaixo das esperadas, para estações de tratamento australiano, na maioria das épocas do ano. Porém, quando atingiu a qualidade esperada para os nutrientes (julho/06), não atendeu à legislação, devido a maiores concentrações de nitrogênio amoniacal.

Ao comparar a ETE de Pariquera-Açu com outro sistema australiano do Estado de São Paulo, localizado em Novo Horizonte, pesquisado por Falco (2005) (Tabela 10), nota-se que as concentrações efluentes em Pariquera-Açu foram menores que o efluente na ETE de Novo Horizonte. Por exemplo, enquanto as concentrações de DQO no efluente de Novo Horizonte estiveram entre 151 e 392 mg.L⁻¹, as concentrações em Pariquera-Açu estiveram entre 24 e 123 mg.L⁻¹. Para fósforo total, as concentrações em Novo Horizonte estiveram entre 11 e 19 mg.L⁻¹, enquanto que em Pariquera-Açu, entre 1,1 e 4,4 mg.L⁻¹.

Assim, as concentrações de variáveis em Novo Horizonte, em geral, estiveram de acordo com as faixas apresentadas por Oliveira e von Sperling (2005). A DQO esteve de acordo com as concentrações observadas experimentalmente, na maioria das épocas do ano, enquanto que as de sólidos suspensos totais, com as faixas obtidas na literatura. Dessa forma, as faixas de concentrações apresentadas parecem ser adequadas a parte dos sistemas de lagoas de estabilização australianos do Estado de São Paulo.

Na ETE Jacupiranga, as concentrações de DQO efluente foram menores que na ETE de Pariquera-Açu, na maioria das épocas do ano, exceto em abril/06 (em média 48 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu e 59 mg.L⁻¹, em Jacupiranga). As concentrações de sólidos suspensos totais apenas foram maiores na ETE de Jacupiranga em julho/06 (57 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu e 74 mg.L⁻¹, em Jacupiranga). As concentrações de nitrogênio Kjeldahl foram maiores em Jacupiranga em todas as épocas do ano e estiveram entre 16 e 37 mg.L⁻¹. E, as concentrações de fósforo total, foram maiores em Jacupiranga, em janeiro/06 (2,0 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu e 2,5 mg.L⁻¹, em Jacupiranga) e em abril/06 (1,4 mg.L⁻¹, em Pariquera-Açu e 2,2 mg.L⁻¹, em Jacupiranga). Dessa forma, não houve um sistema cujo efluente foi predominantemente

melhor que o outro, já que as concentrações variaram nas diferentes épocas do ano, sendo que determinada variável foi melhor em um sistema ou outro.

A mudança climática foi significativa para a qualidade efluente das lagoas, na medida em que, através de análise estatística (PCA), observou-se variação sazonal de qualidade efluente nos dois sistemas. A variação sazonal foi observada através de Figuras que possibilitaram a formação de agrupamentos entre dias de coletas. Este, por sua vez expressaram a sazonalidade para as variáveis que compuseram os fatores 1 e 2 na lagoa facultativa com chicanas 2 e apenas para as variáveis que compuseram o fator 1, nas lagoas facultativas com chicanas 1 e convencional. Nos agrupamentos gerados por PCA observou-se que a época de julho/06 foi agrupada separadamente das outras épocas do ano, em todas as lagoas.

Ao analisar a qualidade dos afluente e efluente através de variáveis químicas, em julho/06, época de seca e de menores temperaturas da água e do ar, as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, nitrato, fósforo total, foram maiores em relação às outras épocas do ano. Maiores concentrações também puderam ser observadas na alcalinidade e nas formas de carbono tais como, carbono inorgânico, bicarbonato, dióxido de carbono total. Assim, a variação sazonal ficou evidente, tanto destas variáveis como dos agrupamentos estatísticos.

Variação diária de qualidade do efluente ocorreu para as variáveis que compuseram o fator 2 na lagoa com chicanas 1, em setembro/05, janeiro/06 e julho/06 e na aerada, em janeiro/06; e fatores 1 e 2, na facultativa convencional, em janeiro/06, já que, ao analisar os agrupamentos gerados pela PCA, os três dias de amostragem não formaram agrupamentos. Este fato evidencia que, variação diária ocorreu principalmente em janeiro/06, época de maior precipitação, em geral para as variáveis que compuseram o fator 2. Assim, pode-se observar que o número de dias de coleta, em cada época do ano, foi importante para avaliar a variação

sazonal e diária de qualidade efluente, através da formação de agrupamentos.

Através da utilização da PCA, também foi possível encontrar as variáveis significativas, a fim de reduzir o número de variáveis a serem utilizadas em futuros monitoramentos de qualidade do efluente, tal como a PCA que foi utilizada por Librando et al. (1995). Dessa forma, estes monitoramentos seriam realizados com as variáveis que mais se modificaram na escala temporal. Além disso, foi possível enumerar variáveis influenciadas pela variação temporal e espacial, como no trabalho de Singh et al. (2004).

Assim, as variáveis importantes para futuros monitoramentos e que foram influenciadas pela variação temporal, nas lagoas facultativas, foram a condutividade média, fosfato inorgânico, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldhal, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbono total e carbono orgânico, já que estas foram significativas, ou seja, foram as que mais variaram nas diferentes coletas, sob diferentes condições climáticas, tanto nas lagoas com chicanas, quanto na convencional. A temperatura média e o fósforo total foram significativos apenas nas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), o que as tornam importantes em monitoramentos nestas lagoas.

A qualidade do efluente é resultado de processos que ocorrem dentro das lagoas os quais provocam mudança de qualidade de águas dentro das lagoas, que refletem nos perfis de variáveis físicas e químicas, como: pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. A temperatura da água pode influenciar os processos de degradação de matéria orgânica, por exemplo, através da diferença de densidade em diferentes camadas e formação de estratos, ou seja, estratificação térmica.

Com a fixação de gradientes de aproximadamente $0,6\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ para caracterização de ocorrência de estratificação térmica, como proposto por Kellner e Pires (2002), diferentes comportamentos térmicos foram observados nos perfis de temperatura obtidos nas lagoas que compõem as ETEs de Pariquera-Açu e de Jacupiranga. Ressalta-se que as coletas em

Pariquera-Açu foram executadas na parte da manhã, enquanto que em Jacupiranga, à tarde, ou seja, em diferentes fotoperíodos, o que pode ter influenciado na existência de estratificação térmica, já que no período da tarde o tempo de aquecimento da água é maior e assim a formação de termoclina é mais provável.

Nas duas lagoas anaeróbias, da ETE de Pariquera-Açu, de acordo com o critério acima, houve estratificação térmica em setembro/05, janeiro/06 e abril/06. Neste último, nas duas lagoas, a estratificação térmica foi observada apenas no primeiro dia, nos primeiros 0,5 m da coluna de água. Em julho/06, a estratificação foi observada no terceiro dia, na primeira lagoa anaeróbia; e no primeiro e terceiro dias, na segunda lagoa.

A lagoa aerada, apenas em julho/06, quando nenhum aerador estava funcionando, apresentou estratificação térmica. Ao comparar as lagoas anaeróbias e aerada, observou-se que as temperaturas na lagoa aerada foram maiores que nas lagoas anaeróbias, já que as amostragens foram realizadas no período da tarde, porém, quando ao menos um aerador estava funcionando, a lagoa aerada, mesmo apresentando maiores valores temperaturas, o que é favorável à formação de termoclina, para temperaturas em torno de 20 °C, permaneceu homogênea, enquanto que as anaeróbias permaneceram estratificadas termicamente. Assim, a influência de aeradores na distribuição vertical da temperatura foi observada na lagoa aerada (ETE de Jacupiranga) através da distribuição vertical homogênea desta variável, independente do número de aeradores que estavam funcionando e ao menos até onde a energia de agitação destes estava alcançando. No entanto, não foi possível afirmar se a energia transmitida pelo (s) aerador (es) alcançou toda a lagoa, já que apenas um ou dois aeradores funcionavam durante as coletas. Em outras palavras, não se pode afirmar que a lagoa toda se manteve homogênea termicamente enquanto os aeradores estavam funcionando (setembro/05, janeiro/06 e abril/06).

Quando os aeradores estavam funcionando, além da homogeneidade térmica, a lagoa

aerada da ETE de Jacupiranga apresentou distribuição de oxigênio dissolvido com concentrações maiores que $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Devido à presença de oxigênio na coluna de água e da mistura retratada pelos perfis, a lagoa aerada da ETE de Jacupiranga pôde ser classificada como aeróbia, segundo o critério proposto por Reynolds e Richards (1995) de que lagoas aeradas podem ser caracterizadas como aeróbia ou facultativa. Ressalta-se que esta mensuração foi realizada apenas no meio da lagoa, de forma que não se sabe como se comportariam os perfis em outras regiões.

Nas duas lagoas facultativas com chicanas, da ETE de Pariquera-Açu, e na facultativa convencional, da ETE de Jacupiranga, houve estratificação térmica na maioria das mensurações, hora nas camadas mais superficiais, hora no fundo. O comportamento térmico destas lagoas foi semelhante, na medida em que os gradientes nas três lagoas estiveram próximos, exceto em julho/06, quando na lagoa facultativa convencional as termoclinas foram maiores. Dessa forma, os diferentes horários de amostragem nos sistema – de manhã no sistema de Pariquera-Açu e a tarde no de Jacupiranga - não influenciaram os gradientes térmicos.

As menores termoclinas, nas lagoas facultativas, ocorreram em janeiro/06, sendo que homogeneidade térmica foi observada no terceiro dia, na facultativa convencional; e no segundo e terceiro dias, nas facultativas com chicanas. As menores termoclinas observadas em janeiro/06 podem ter ocorrido devido às maiores precipitações diárias observadas nesta coleta que estiveram entre 0 mm e 23 mm, em Pariquera-Açu e entre 5 mm e 43 mm, em Jacupiranga, já que as temperaturas da água foram altas: aproximadamente 29°C , o que justificaria elevadas termoclinas. Assim como nas lagoas facultativas, nas lagoas anaeróbias, em janeiro/06, homogeneidade térmica foi observada até 1,5 m, provavelmente devido à precipitação. Dessa forma, pode-se concluir que a precipitação pode ser importante para a mistura na coluna de água, ou para diminuir a diferença de densidades entre as camadas e

assim, resultar na mudança no funcionamento do sistema.

Essa mudança no funcionamento do sistema para situação de mistura na coluna de água pôde ser observada, por exemplo, para as concentrações de clorofila *a*. As maiores concentrações nas lagoas facultativas com chicanas e nas anaeróbias foram observadas em janeiro/06. Tal fato corrobora com Meneses et al. (2005), que observaram aumento de clorofila *a* na lagoa misturada, em relação à estratificada, o que permite concluir que a mistura proporciona ambiente favorável ao aumento da concentração de clorofila *a*. Outra situação que esteve de acordo com esta afirmação ocorreu na lagoa aerada, cujas concentrações de clorofila *a* foram menores quando a lagoa esteve estratificada (julho/06).

As homogeneidades térmica e química, de oxigênio dissolvido e pH, também podem ter sido ocasionadas pela combinação entre precipitação, velocidade de vento e radiação solar, já que, nem sempre altas velocidades de vento resultaram em desestratificação da coluna de água (primeiro dia de abril/06). Homogeneidade ocorreu, principalmente, quando houve precipitação (acima de 3 mm) combinado com maiores velocidade de vento (acima de $1,7 \text{ m.s}^{-1}$) e alta radiação solar incidente (acima de $1500 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e foram observadas até no mínimo 0,2 m e no máximo 1,5 m, principalmente na lagoa facultativa convencional, em setembro/05 (1º dia), janeiro/06 (2º e 3º dias) e abril/06 (2º e 3º dias).

Através da PCA, a estratificação térmica foi uma das variáveis a serem analisadas, juntamente com as que expressam a qualidade do efluente (série nitrogenada, fósforo total Kjeldahl, DQO, diferentes formas de sólidos suspensos, diferentes formas de carbono, alcalinidade e clorofila *a*), para as seis lagoas, separadamente, e foi representada pela termoclina média. Nesta análise, a termoclina média foi considerada variável significativa na maioria das lagoas, exceto na facultativa convencional, onde, dessa forma, a termoclina média não deve ter variado significativamente nas diferentes épocas do ano. Não houve nenhuma variável que estivesse relacionada com a termoclina média, igualmente, nas cinco lagoas em

que esta variável foi significativa. Dessa forma, não houve relação entre a estratificação térmica e uma ou mais variáveis de maneira padronizada, nem mesmo para as duas facultativas com chicanas. Isso provavelmente ocorreu devido aos diferentes tipos de processos entre as lagoas anaeróbias, aerada e com chicanas, sendo que as com chicanas, também se diferenciaram, provavelmente por terem recebido vazões diferentes, conseqüentemente, cargas distintas. Assim, a estratificação térmica deve ter sido relacionada com as variáveis que mais se modificaram em cada lagoa, sendo que foram diferentes, devido provavelmente aos diferentes processos.

Os perfis de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura foram avaliados, em cada sistema separadamente. A variação sazonal destes perfis foi considerada significativa, na análise de variância, para os dois sistemas, e por isso as relações foram obtidas para cada época do ano, separadamente. Os perfis de temperatura, em geral, estiveram relacionados com os de oxigênio dissolvido e de pH, nos dois sistemas. Nota-se que tanto a temperatura, como oxigênio dissolvido dependem da radiação solar e o pH, por sua vez, da fotossíntese, dessa forma, esta relação era esperada. Essa relação apenas não foi verdadeira em julho/06, na ETE de Pariquera-Açu e em abril/06, na ETE de Jacupiranga. No primeiro caso, a temperatura foi significativa, porém esteve relacionada com a condutividade e no segundo, a temperatura não foi significativa.

Os perfis determinados em vários pontos nas lagoas anaeróbias (ETE de Pariquera-Açu), para as variáveis de monitoramento, não foram relevante, na medida em que os perfis de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade elétrica, em cada lagoa, foram semelhantes. Assim, a mensuração dos perfis em apenas um ponto, em cada lagoa, poderia tê-la caracterizado. Para esta constatação, apenas as Figuras (22 a 38) foram suficientes.

Na lagoa facultativa com chicanas 1, as Figuras 40 a 47 também permitem afirmar que apenas uma única amostragem nela seria suficiente para caracterizá-la quanto aos perfis de

condutividade elétrica. Porém, quanto à temperatura, pH e oxigênio dissolvido houve diferença entre os três perfis, sendo que para a temperatura, em algumas mensurações foi observada homogeneidade térmica na entrada e estratificação térmica nos outros perfis (terceiro dia, em abril/06; segundo e terceiro dias, em julho/06); para as concentrações de oxigênio dissolvido os três perfis foram diferentes em setembro/05 e abril/06, nos três dias, em janeiro/06, no 1º dia (camadas superficiais); e para o pH, a variação espacial de pH ocorreu em janeiro/06 (primeiro dia) e julho/06 (nos três dias), de forma que os menores valores foram observados na entrada e os maiores na saída. Dessa forma, variação espacial foi observada e a mensuração em diferentes pontos foi importante para caracterizá-la, quanto aos perfis de variáveis de monitoramento. Pode-se concluir também que seria relevante estudos sobre processos em vários pontos nesta lagoa.

Na lagoa facultativa com chicanas 2 (Figuras 49 a 57), a determinação de perfis de condutividade em vários pontos não foi relevante, já que eles foram semelhantes nos três pontos. A variação espacial de oxigênio dissolvido foi a mais relevante, de maneira que, ocorreu nos três dias, em setembro/05 e julho/06 e no terceiro dia, em abril/06; a variação de temperatura ocorreu no 2º e 3º dias, em abril/06; e no primeiro dia, em julho/06; e para pH, no terceiro dia, em abril/06 e nos três dias, em julho/06. Assim, a determinação em mais de um ponto dos perfis destas variáveis foi importante para caracterizar esta lagoa.

A variação espacial de pH, nas lagoas facultativas com chicanas, em geral, ocorreu de forma que em abril/06 – no primeiro e segundo dias, na lagoa 1 – em janeiro – no primeiro dia, na lagoa 1 – e em julho/06 - no segundo dia, na lagoa 2 - menores valores de pH na entrada e maiores na saída do sistema. Considerando que o pH nestas lagoas é regulado, principalmente, pela atividade fotossintética, ou seja, produção e consumo de oxigênio dissolvido, há evidências de que essa diferença de pH tenha ocorrido porque na entrada da lagoa pode haver elevada demanda por oxigênio, devido a não diluição do afluente bruto e ao

predominante fluxo em pistão, podendo ocorrer, neste local, condições anaeróbias, ou seja, maior produção de CO_2 , que consumo e conseqüentemente diminuição do pH. Entretanto, no final da lagoa podem ocorrer condições aeróbias, ou seja, maior consumo de CO_2 que produção e conseqüentemente, aumento de pH (VON SPERLING, 1996b).

Esta hipótese é reforçada ao observar as concentrações de oxigênio dissolvido, que seguiram o mesmo padrão de comportamento do pH, em setembro/06 (segundo e terceiro dias, duas lagoas) e julho/06 (segundo dia, LF2). Tal fato é relevante, pois a variação de pH é controlada pela fotossíntese na medida em que as algas absorvem CO_2 , durante o dia e durante a noite a absorção de CO_2 pelas algas diminui, tornando o meio mais ácido. Nos outros dias e coletas, as concentrações de oxigênio dissolvido foram semelhantes, nos três pontos, porém os processos em cada ponto podem ter sido diferentes, pois após aproximadamente 20 dias de tempo de detenção as características do efluente devem ter mudado ao longo das lagoas e, assim, refletido nos valores de pH, conforme o parágrafo anterior.

Na lagoa facultativa convencional (Figuras 62 a 70), a determinação dos perfis de condutividade elétrica em apenas um ponto caracterizaria a lagoa como um todo, já que não houve diferença entre os perfis, nos três pontos. Por outro lado, para as outras variáveis os perfis nos três pontos foram diferentes, de forma que em janeiro/06 e abril/06, as temperaturas, as concentrações de oxigênio dissolvido e os valores de pH aumentaram da entrada para a saída (exceto no primeiro dia, em abril/06, para as três variáveis; e no terceiro dia, em janeiro/06, para a temperatura) e em setembro/06 e em julho/06, não houve padrão de comportamento definido. Assim a mensuração em três pontos foi relevante para a caracterização desta lagoa, e permite a hipótese de que pode ter ocorrido mudança de comportamento físico-químico ao longo desta lagoa também.

Estas menores concentrações de pH e oxigênio dissolvido na entrada enquanto que

maiores na saída, como ocorreu nas lagoas facultativas com chicanas, também torna provável que a mistura no sentido longitudinal da lagoa possa não ter ocorrido, principalmente em janeiro/06 e abril/06, de maneira que, ao longo dos 20 dias, aproximadamente, de tempo de detenção hidráulico, as características da água residuária e conseqüentemente os processos ao longo da lagoa tenham sido diferentes e tenham resultado nos diferentes perfis ao longo desta lagoa.

Assim, a variação espacial foi um fator importante que se repetiu na maioria das lagoas de estabilização, exceto na anaeróbia. Os três pontos mensurados parecem ter sido suficientes para o estudo espacial, em lagoas de estabilização facultativas, já que expressaram possíveis mudanças de comportamento físico químico longitudinal nestas lagoas, a partir de perfis distintos de variáveis de monitoramento, principalmente pH e oxigênio dissolvido.

Além da diferença longitudinal de perfis de pH e oxigênio dissolvido, também foi observada diferença de estratificação térmica, nas três lagoas, entre os pontos em uma mesma lagoa e mesma coleta, como mencionado anteriormente, de maneira que na entrada, houve homogeneidade térmica e nos outros pontos, estratificação térmica (segundo e terceiro dias, abril/06, na lagoa facultativa convencional; terceiro dia, em abril/06, na lagoa facultativa com chicanas 1; segundo e terceiro dias, em julho/06, na lagoa facultativa com chicanas 1). A variação espacial dentro de lagoas também foi observada por Sweeney (2005), que estudou a prevalência e a persistência da estratificação térmica em diferentes pontos e atribuiu à diferença térmica, o efeito da direção do vento. Nesta pesquisa, a direção do vento em abril/06 corroborou com direção observada pelo autor, já que nesta época do ano o vento soprou da região de homogeneidade térmica para a região mais estratificada, ou seja, sul-norte. Porém em julho/06, a direção foi oposta (norte-sul) e o vento soprou da região mais estratificada para a menos, ou seja, não corroborou com a hipótese do autor.

Outra variação espacial observada está relacionada à amplitude dos perfis térmicos na

entrada, meio e saída. Nas lagoas facultativas com chicanas (ETE de Pariquera-Açu), onde as mensurações foram realizadas na parte da manhã, os três perfis foram semelhantes, ao comparar os valores em cada profundidade. Porém, na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), onde as coletas foram realizadas à tarde, a diferença de valores nos três perfis, ao comparar mesmas profundidades, foi maior. Dessa forma, pode-se concluir que a variação espacial de temperatura na lagoa facultativa convencional foi maior que nas lagoas com chicanas, o que pode ter sido resultante dos horários amostrados.

Dessa forma, esta pesquisa apresentou o comportamento de lagoas de estabilização através de perfis de monitoramento em diferentes pontos, nas diferentes lagoas e épocas do ano, aspectos operacionais e características afluentes e efluentes. A principal contribuição sobre funcionamento de lagoas de estabilização foi à observação de variação sazonal, nas cinco lagoas, e a variação espacial, principalmente nas lagoas facultativas, o que sugere a ocorrência de diferentes processos nas diferentes épocas do ano e diferentes pontos nas lagoas, os quais refletiram nas características efluentes, como observado.

A ocorrência de variação espacial em lagoas de estabilização sugere a reflexão sobre aspectos de projeto, tais como a revisão da atual consideração de equações de mistura completa nas lagoas, ou seja, estudar a importância de haver diferentes processos em uma mesma lagoa, ou buscar meios para misturá-la. A ocorrência de variação sazonal sugere a reflexão sobre a importância de se projetar lagoas de estabilização para atender a situação crítica ou não, ou seja, situação correspondente à época do ano em que as características efluentes são piores; e sugere entender quais são as características climáticas que tornam as características piores.

Ainda quanto à variação sazonal, esta foi importante na comparação entre os dois sistemas, um australiano (ETE de Pariquera-Açu) e outro de lagoa aerada seguida de facultativa (ETE de Jacupiranga). Embora os dois sistemas sejam diferentes, não houve

aquele que foi predominantemente mais eficiente, e aquele cuja qualidade do efluente foi predominantemente melhor, já que tanto a eficiência quanto à qualidade do efluente variaram nas diferentes épocas do ano, tornando um ou outro melhor, nas diferentes épocas do ano.

Outra contribuição desta pesquisa é referente à análise estatística. A PCA parece ser importante ferramenta para o entendimento de sistemas de lagoas de estabilização, de forma que torna possível determinar as variáveis significativas, ou seja, aquelas que mais variaram nos diferentes períodos, e a partir delas iniciar o entendimento sobre que processos podem ter ocorrido nas diferentes escalas temporais, de maneira a modificar suas concentrações. Além disso, pode ser ferramenta para monitoramento de lagoas de estabilização, através da identificação de variáveis cujas concentrações mais se modificaram na escala de tempo adotada e utilização delas em monitoramentos de lagoas.

Além dessas questões, pôde-se observar que a estratificação térmica foi variável significativa na maioria das lagoas de estabilização, exceto na lagoa facultativa convencional (ETE de Jacupiranga), e esteve relacionada com variáveis químicas, de maneira não padronizada. Assim, estudo sobre processos que influenciaram na alteração das concentrações das variáveis significativas e sua relação com a estratificação térmica é necessário. Além disso, observou-se que a precipitação (janeiro/06) e a combinação entre precipitação, radiação solar e vento foram importantes na diminuição da termoclina. Esta mudança de comportamento térmico, em janeiro/06, pode ter influenciado a qualidade efluente das lagoas anaeróbias (fatores 1 e 2) e facultativa com chicanas 1 (fator 2) e 2 (fator 2), já que esta época do ano foi agrupada separadamente na PCA.

7. CONCLUSÕES

1. Nos dois sistemas de lagoas de estabilização, as concentrações de variáveis no afluente foram baixas, consideradas, em geral, entre médio e fraco e para DQO abaixo de fraco. Assim, nota-se que o esgoto dessa região do Estado de São Paulo pôde ser considerado diluído.
2. A escala temporal estudada (sazonal e diária) para a análise do afluente foi adequada, já que variação sazonal foi observada, nos dois sistemas, o que torna importante o estudo do afluente e outras análises relacionadas a este, nas quatro épocas do ano. A escala diária foi importante para formação de agrupamentos de dias de coletas, na PCA e, assim, para a análise das duas escalas temporais.
3. As concentrações de variáveis no efluente também variaram nas diferentes épocas do ano, nos dois sistemas, de acordo com a PCA, o que caracterizou variação sazonal. Assim, as características climáticas parecem ter influenciado na qualidade do efluente dos dois sistemas. Esta variação sazonal observada confirma a importância em estudar os processos em lagoas de estabilização em diferentes épocas do ano, principalmente daqueles que têm influência sobre as variáveis que compõem o fator 1, o qual gerou agrupamentos sazonais. Ressalta-se que em todas as lagoas, julho/06, época de baixas precipitações e com menores temperaturas, foi agrupado separadamente das outras as épocas do ano.
4. Variação diária de qualidade do efluente também foi observada, e ocorreu em janeiro/06, época de maiores precipitações, que pôde ser observada através da PCA, através da não formação de agrupamentos entre os dias de coleta, nesta época do ano. Assim, as duas escalas temporais (sazonal e diária) foram importantes na análise da qualidade do efluente.

5. O efluente, das duas estações de tratamento, atendeu à legislação CONAMA, exceto em julho/06, quando as concentrações de nitrogênio amoniacal no efluente excederam o limite imposto. Além disso, nesta época do ano, a lagoa aerada na ETE de Jacupiranga esteve sem aeração, o que também pode ter comprometido a eficiência daquele sistema. Assim, os dois sistemas não estiveram de acordo com a legislação apenas nesta época do ano.
6. Com auxílio da PCA, observaram-se variáveis significativas semelhantes, para qualidade do efluente, nas três lagoas facultativas: condutividade média, fosfato inorgânico, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, alcalinidade, bicarbonato, dióxido de carbono total e carbono inorgânico. Esta similaridade expressa a importância de análise das mesmas em futuros monitoramentos, assim como em futuros estudos sobre processos em lagoas facultativas.
7. Não houve um padrão que definisse um tipo de lagoa como sendo mais eficiente ou com qualidade efluente melhor, pois ambos variaram nas diferentes épocas do ano. Assim, embora os dois sistemas sejam compostos por lagoas diferentes, pode-se dizer que a eficiência e a qualidade do efluente dos dois foram semelhantes.
8. Quanto aos perfis de monitoramento, a estratificação térmica foi predominante nas lagoas facultativas, na maioria das mensurações. Por outro lado, nas lagoas anaeróbias, tanto em abril/06, quanto em julho/06, ocorreu mistura na coluna de água na maioria dos dias amostrados. Essa diferença pode ter ocorrido devido às maiores concentrações de sólidos, nas lagoas anaeróbias, e conseqüentemente menor absorção de radiação solar, responsável pelo aquecimento da coluna de água.
9. Nas lagoas facultativas com chicanas e convencional, as termoclinas foram semelhantes, exceto em julho/06; porém na lagoa facultativa convencional, os valores de temperatura, considerando-se as mesmas profundidades, foram maiores que nas

com chicanas, o que resultou em maior variação espacial. Assim, a diferença entre os horários de amostragem, de manhã no sistema de Pariquera-Açu e à tarde, em Jacupiranga, parece não ter influenciado na amplitude da termoclina, mas deve ter influenciado na variação espacial de temperatura.

10. As variáveis de monitoramento nos dois pontos da lagoa anaeróbia foram semelhantes, o que justificaria futuras coletas em apenas um ponto. Por outro lado, nas lagoas facultativas, a mensuração de perfis de variáveis de monitoramento em mais de um ponto foi relevante, o que torna importante o estudo espacial em lagoas facultativas.
11. Menores termoclinas foram observadas quando houve maiores precipitações ou quando a combinação entre velocidade de vento, precipitação e radiação solar tornou-as menores. Janeiro/06, época de maiores precipitações, foi a época de menores termoclinas nas lagoas facultativas com chicanas e homogeneidade até 1,5 m, nas anaeróbias. Esta maior mistura na coluna de água esteve relacionada ao aumento nas concentrações de clorofila *a* nestas lagoas. Assim, determinados graus de mistura da coluna de água, proporcionando distribuição de nutrientes, parecem não ser interessantes, já que resultam em diminuição de eficiência através do aumento de produção de matéria orgânica.
12. De acordo com análise estatística (PCA), os perfis de temperatura, em geral, estiveram relacionados com os perfis de pH e oxigênio dissolvido, nos dois sistemas. Assim, essas três variáveis apresentam padrão de comportamento semelhante, o que pode ter ocorrido devido a relação destes com a radiação solar. Na lagoa aerada, esta relação provavelmente ocorreu, devido à mistura na coluna de água, já que a fotossíntese não é predominante nesse tipo de lagoa.
13. A estratificação térmica foi variável significativa, na maioria das lagoas, exceto na lagoa facultativa convencional, e esteve relacionada com algumas variáveis que

determinam a qualidade do efluente, em cada lagoa com variáveis diferentes. Esta diferença pode ter ocorrido devido aos diferentes processos que ocorrem nas diferentes lagoas.

14. As características operacionais, na ETE de Pariquera-Açu, tais como vazão e tempo de detenção hidráulico estiveram na faixa observada nas ETEs no estado de São Paulo para sistemas australianos. Assim, com relação à operação, o sistema esteve dentro dos padrões para esse tipo de estação de tratamento. Quanto à ETE de Jacupiranga, as características operacionais foram próximas às da ETE de Pariquera-Açu. O volume de lodo nas duas lagoas facultativas estudadas, não ultrapassou 3% do volume das lagoas. Dessa forma, não ocupou volume significativo do volume total.
15. Na lagoa facultativa convencional, o maior tempo de detenção que ocorreu em julho/06 esteve relacionado às maiores concentrações de clorofila *a* nesta lagoa. Assim, longos tempos de detenção hidráulicos parecem não ser interessantes, já que reduzem a eficiência por aumentar as concentrações de clorofila *a*.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Method: for the examination of water and wastewater**. 19ed. Washington: Byrd Prepress Springfield, 1995.

AUTOCAD. Version 2000. USA: AutoDesk, Inc., 1999. 1 CD ROM.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Resolução CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**. p. 23, mar., 2005.

CEBALLOS, B. L. Microbiologia sanitária e ambiental. In: MENDONÇA, S. R. (ed.). **Sistemas de lagunas de estabilización – como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadio**. Colômbia: MacGraw-Hill, 2000. p.64-104.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS - CIIAGRO. Disponível em: <<http://ciiagro.iac.sp.gov.br/ciiagroonline/>>. Acesso em: set., out. nov. e dez., 2006.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM, 1997. p.246 (Princípios de tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

COLE, G.A. **Textbook of Limnology**. Third edition. Illinois, USA: Wavelanf Press, 1983. p.401.

EVANS, R.A.; CROMAR, N.J; FALLOWFIELD, H.J. Performance of a pilot-scale high rate algal pond system treating abattoir wastewater in rural South Australia: nitrification and

desnitrification. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.51, n.12, p. 117-124, 2005.

FALCO, P.B. (2005). **Estrutura da comunidade microbiana (algas e bactérias) em um sistema de lagoas de estabilização em duas escalas temporais: nictemeral e sazonal**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

GAWASIRI, C.B. **Modern Design of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates: Comparison with Traditional Design Methods**. 2003. 128 f. Dissertation (Master of Science in Environmental Engineering and Project Management). School of Civil Engineering, University of Leeds, United Kingdom, 2003.

GERMAN, J. et al. Modelling of temperature effects on removal efficiency and dissolved oxygen concentrations in stormwater ponds. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.48, n.9, p. 145-154, 2003.

GIRALDO, E.; GARZÓN, A. Compartmental model for organic matter digestion in facultative ponds. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.45, n.1, p. 25-32, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados: cidades** @. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 jun. 2006.

KAYOMBO, S. Diurnal cycles of variation of physical-chemical parameters in waste stabilization ponds. **Ecological Engineering**, Great Britain, v.18, n. 3, p. 287-291, Jan. 2002.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. **Lagoas de estabilização: Projeto e Operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998. p.244.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. The influence of thermal stratification on the hydraulic behavior of waste stabilization ponds. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.45, n.1, p. 41-

48, 2002.

KILANI, J.S.; OGUNROMBI, J.A. Effects of baffles on the performance of model stabilization ponds. **Water Research**, Great Britain, v.18, n.8, p. 941-944, 1984.

KÖNIG, A. Biologia das lagoas: algas. In: MENDONÇA, S.R. et al. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1990. Cap. 2, p.57-88.

KÖNIG, A. Biología de las lagunas de estabilización: algas. In: MENDONÇA, S.R. **Sistemas de lagunas de estabilización: como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío**. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, 2000. Cap. 2, p.44-67.

LIBRANDO V.; MAGAZZU G.; PUGLISI A. Multivariate micropollutants analysis in marine waters. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.32, n.9, p. 341-348, 1995.

MARA, D.D; PERSON, H. Artificial Freshwater Environment: Waste Stabilization Ponds. In: REHM, H.J; REED, G. **Microbial Degradations**. New York: VCH, 1986. Cap. 4, p. 177-205 (Biotechnology, v.8).

MARA, D.D. et al. **Waste stabilization ponds: a viable alternative for small community treatment systems**. J. JWEM. v.6. p.72-78, 2002.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.E. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Freshwater Biological Association, Sci. Pub, n.6, Wilson and Sons LTDA, 1977. p.117.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991. p.1334.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4. ed. New

York: McGraw - Hill Book, 2003. p.1815.

MEDRI, W.; MEDRI, V. A Mathematical Model for the Removal of Organic Mater in Stabilization Ponds. **Brazilian archives of biology and technology**, Great Britain, v.45, n.1, p. 89-95, Mar. 2002.

MENDONÇA, S.R. Lagoas de estabilização. In: MENDONÇA, S.R. et al. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1990a. Cap. 6, p.235-277.

MENDONÇA, S.R. Lagoas aeradas mecanicamente. In: MENDONÇA, S.R. et al. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1990b. Cap. 7, p.279-328.

MENESES, C.G.R. et al. Variation in DBO, algal biomass and organic matter biodegradation constants in a wind-mixed tropical facultative waste stabilization ponds. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.51, n.12, p. 163-172, 2005.

MIETTINEN, T. et al. Multivariate monitoring of a biological wastewater treatment process: a case study at Melbourne Water's Western Treatment Plant. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.73, n.1, p. 131-138, set. 2004.

MORENO, M.D. A tracer study of the hydraulics of facultative stabilization ponds. **Water Research**, Great Britain, v.24, n.8, p. 1025-1030, ago. 1990.

OLIVEIRA, S.M.A.C; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias: parte 1 – análise de desempenho. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, Brasil, v.10, n.4, p. 347-357, out. - dez. 2005a.

OLIVEIRA, S.M.A.C; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETES em operação no país,

compreendendo diversas tecnologias: parte 2 – influência de fatores de projeto e operação. *Engenharia Ambiental e Sanitária*, Brasil, v.10, n.4, p. 358-368, out. - dez. 2005b.

PATRICK, C.C.LAI; PAUL K.S.LAM. Major pathway for nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. **Water, air and soil pollution**, Netherlands, v.94, n. 1-2, p. 125-136, 1997.

PICOT, B. et al. Twenty years' monitoring of Mèze stabilisation ponds: part I – removal of organic matter and nutrients. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.51, n.12, p. 23-31, 2005.

REYNOLDS, T.D.; RICHARDS, P.A. 2^a ed. **Unit operations and processes in environmental engineering**. Boston : PWS Pub. Co., 1995. p.798.

SABESP. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagens recebidas dos responsáveis pelas lagoas de estabilização no Vale do Ribeira durante 2006.

SÃO PAULO. **Decreto n.º 10755, de 22/11/77**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto 8468/76. São Paulo, 1977.

SARAIVA, L.B. et al. Determination of sedimentation constants for total suspended solids and the algal component in a full-scale primary facultative pond operating at high wind velocities under tropical conditions. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.51, n.12, p. 213-216, 2005.

SHILTON, A.N.; HARRISON, J. **Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilisation Ponds**. New Zealand: Massey University, 2003.

SINGH, KP. et al. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)--a case study. **Water Research**, Great

Britain, v.38, n.18, p. 3980-3992, 2004.

STATISTICA. Version 6.0. Tulsa: Statsoft, Inc., 2001. 1 CD ROM.

SURFER. Version 6.0 for Windows. Golden, Colorado: Golden Software, Inc., 1997. 1 CD ROM.

SYSTAT. Version 9.0 for Windows. Chicago: SPSS, Inc., 1999. 1 CD ROM.

SWEENEY, D.G. Profiling and modelling of thermal changes in a large waste stabilisation pond. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.51, n.12, p. 163-172, 2005.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Guidelines on Municipal Wastewater Management**. The Netherlands: UNEP/GPA Coordination Office, 2004. p. 92.

VALERO, M.A.C.; MARA, D.D. **Nitrogen removal in maturation ponds: tracer experiments with ¹⁵N-labelled ammonia**. Disponível em: <<http://www.ing.unal.edu.co/pdigitales/index.php>>. Acesso em: 07 abr. 2007.

VON SPERLING, M. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. **Water Science and Technology**, Great Britain, v.33, n.3, p. 59-72, 1996a.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM, 1996b. p.134 (Princípios de tratamento biológico de águas residuárias, v.3).

WETZEL, R.G. **Limnologia**. 2ª ed. Portugal, Lisboa: Edição da Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. p.919.