

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE O  
PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DOS ESGOTOS  
DOMÉSTICOS EM LAGOAS FACULTATIVAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**João Júlio Klüsener**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE O PROCESSO DE  
DECOMPOSIÇÃO DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS EM  
LAGOAS FACULTATIVAS**

**por**

**João Júlio Klüsener**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**

**Orientador: Prof. Geraldo Lopes da Silveira**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE O PROCESSO DE  
DECOMPOSIÇÃO DOS ESGOTOS DOMESTICOS EM LAGOAS  
FACULTATIVAS**

elaborada por  
**João Júlio Klüsener**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Geraldo Lopes da Silveira, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Afranio Almir Righes, Ph.D** (UNIFRA)

---

**Luiz Olinto Monteggia, Ph.D** (IPH / UFRGS)

Santa Maria, 13 de julho de 2006.

A meu pai Luiz Carlos, engenheiro civil que dedicou sua vida ao saneamento básico;

A minha mãe Zilmar, que me ensinou os mais nobres valores da vida;

A minha Vanessa, que a cada dia me encanta mais com suas qualidades;

A Deus, que os colocou em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Geraldo Lopes da Silveira, pela orientação, pela amizade e sem o qual este trabalho jamais estaria concluído.

Ao Prof. Carlos Alberto Oliveira Irion, pela amizade e pelo incentivo oferecido durante o curso.

Ao Prof. Luiz Olinto Monteggia, pelas valiosas sugestões.

A todos os professores do programa de pós-graduação, pelo empenho e dedicação nas aulas ministradas.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

A CORSAN pela colaboração em fornecer o material para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os colegas de mestrado e a todos os amigos do departamento de hidráulica e saneamento que fizeram parte desta etapa da minha vida.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade federal de Santa Maria

### **INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE O PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DOS ESGOTOS DOMESTICOS EM LAGOAS FACULTATIVAS**

Autor: João Júlio Klüsener

Orientador: Geraldo Lopes da Silveira

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 13 de julho de 2006

O incremento da taxa de urbanização gerando cargas poluidoras pontuais cada vez maiores aliado aos poucos investimentos na área de saneamento constitui um dos principais problemas de saúde pública no país. Um dos desafios da área de saneamento é aperfeiçoar sistemas de tratamento que sejam eficientes e de baixos custos operacionais e de implantação. Este trabalho avaliou a influência da temperatura na decomposição de esgotos domésticos em um sistema de lagoas facultativas tendo como objetivo o aprimoramento dos métodos de dimensionamento deste tipo de lagoa de estabilização. Foram utilizados dados de vinte anos de monitoramento da estação de tratamentos de esgotos do município de Rosário do Sul – RS, um dos mais antigos sistemas de lagoas de estabilização implantados no Brasil, que é operada pela CORSAN. Nos boletins de monitoramento constam parâmetros de temperatura do ar, temperatura do esgoto, pH, oxigênio dissolvido, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, sulfetos, e demanda bioquímica de oxigênio. Como resultados, foram estabelecidas correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto para três pontos do sistema: entrada do sistema; efluente lagoa primária; efluente lagoa secundária. Constatou-se que os parâmetros de OD, pH e sulfetos, aumentaram significativamente com o aumento da temperatura. A eficiência de remoção de sólidos suspensos aumentou com a elevação da temperatura do ar, porém não se verificou aumento ou diminuição da remoção de sólidos sedimentáveis e DBO em função da temperatura. Também foi possível estabelecer equações  $L_s = f(T)$ , que relacionam a máxima carga orgânica superficial que pode ser aplicada a uma lagoa facultativa em relação à temperatura do ar. Estas equações foram as primeiras definidas em função de dados coletados no Rio Grande do Sul.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Thesis  
Master's Degree in Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **INFLUENCE OF THE TEMPERATURE UPON THE PROCESS OF WASTEWATER STABILIZATION IN FACULTATIVE PONDS**

Author: João Júlio Klüsener

Advisor: Geraldo Lopes da Silveira

Date and Place: Santa Maria, July 13<sup>th</sup>, 2006

The increase of the urbanization added by little investments in sanitation is one of the main problems of public health in Brazil. One of the challenges of sanitation is to improve efficient treatment systems with low operational and implantation costs. This work analyzed the influence of the temperature upon the process of wastewater stabilization in a system of facultative ponds with the intention of contributing for the improvement of designing facultative ponds. It was used data of twenty years of sewer treatment plant of the Rosário do Sul city in Rio Grande do Sul. The bulletins report parameters of air temperature, sewer temperature, pH, dissolved oxygen, settleable solids, suspended solids, sulfides, and biological oxygen demand. As results, the correlations between the air temperature and the sewer temperature were established for three points on the system: entrance of the system; effluent of primary pond; effluent of secondary pond. It was verified that the parameters of DO, pH, and sulfides increased with the increase of temperature. The suspended sólids removal efficiency increase with the elevation of temperature, however it was not verified increase or decrease of settleable solids and BOD removal according to the variation of the temperature. It was also possible to stablish equations  $L_s = f(T)$ , that relate the BOD surface loading that can be applied to a facultative pond with respect to the air temperature. These equations were the first ones based on data collected in Rio Grande do Sul.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais rotas de decomposição da matéria orgânica na presença de diferentes aceptores de elétrons .....	24
Figura 2 - Seqüência metabólica e microorganismos envolvidos na digestão anaeróbia .....	26
Figura 3 - Disposição das lagoas .....	49
Figura 4 - Gradeamento, caixa de areia, e calha Parshal .....	50
Figura 5 - Lagoa primária .....	50
Figura 6 - Lagoa secundária .....	51
Figura 7 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto A.....	70
Figura 8 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto B.....	71
Figura 9 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto C.....	71
Figura 10 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto A em função da temperatura do ar.....	75
Figura 11 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto B em função da temperatura do ar.....	75
Figura 12 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto C em função da temperatura do ar.....	76
Figura 13 - Concentração de oxigênio dissolvido nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar.....	76
Figura 14 - pH no ponto A em função da temperatura do ar.....	77
Figura 15 - pH no ponto B em função da temperatura do ar.....	77
Figura 16 - pH no ponto C em função da temperatura do ar.....	78
Figura 17 - pH nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar (°C) .....	78
Figura 18 - Sulfetos no ponto A em função da temperatura do ar.....	79
Figura 19 - Sulfetos no ponto B em função da temperatura do ar.....	79
Figura 20 - Sulfetos no ponto C em função da temperatura do ar .....	80
Figura 21 - Sulfetos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar .....	80
Figura 22 - Sólidos sedimentáveis nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar .....	87

Figura 23 - Sólidos suspensos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar .....	87
Figura 24 - Eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis em função da temperatura do ar .....	88
Figura 25 - Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função da temperatura do ar .....	88
Figura 26 - Variação da vazão no sistema em função da temperatura do ar .....	92
Figura 27 - Variação da vazão nos dias de tempo seco em função da temperatura do ar .....	93
Figura 28 - Variação da vazão nos dias de tempo instável em função da temperatura do ar .....	93
Figura 29 - Variação da vazão nos dias de tempo chuvoso em função da temperatura do ar .....	94
Figura 30 - Variação da vazão nos dias de tempo seco, instável e chuvoso em função da temperatura do ar .....	94
Figura 31 - Variação da vazão média em função das horas do dia.....	96
Figura 32 - Obtenção do valor médio diário de vazão.....	97
Figura 33 -Taxa de aplicação superficial na lagoa primária em função da temperatura do ar.....	104
Figura 34 - Taxa de aplicação superficial na lagoa secundária em função da temperatura do ar.....	105
Figura 35 - Taxa de aplicação superficial no sistema em função da temperatura do ar .....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação geral dos organismos baseada nas fontes de energia e de carbono .....	20
Tabela 3.2 - Principais características dos catabolismos oxidativo e fermentativo ...	21
Tabela 3.3 - Aceptores de elétrons típicos das reações de oxidação no tratamento de esgotos (listados na ordem decrescente de liberação de energia) .....	22
Tabela 3.4 - Aspectos relacionados à profundidade das lagoas facultativas .....	38
Tabela 3.5 - Profundidades recomendadas para lagoas facultativas em função das condições ambientais e do tipo de esgoto .....	39
Tabela 3.6 - Taxas de aplicação superficial para lagoas facultativas, para diferentes condições climáticas. ....	40
Tabela 3.7 - Taxas de aplicação superficial, profundidades e tempos de detenção hidráulico empregados em lagoas facultativas.....	40
Tabela 3.8 - Taxa de aplicação superficial em função da latitude para a Índia .....	44
Tabela 3.9 - Eficiência dos principais sistemas de tratamento de esgotos .....	46
Tabela 5.1 - Planilha eletrônica utilizada para tabulação dos dados de monitoramento da ETE de Rosário do Sul .....	66
Tabela 5.2 - Número de coletas da temperatura do ar, ponto A, B e C.....	72
Tabela 5.3 - Número de coletas de OD, pH e sulfetos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar .....	81
Tabela 5.4 - Número de coletas de sólidos sedimentáveis e suspensos em função da temperatura do ar (°C) .....	89
Tabela 5.5 - Número de coletas de vazão para tempo seco, instável, e chuvoso em função da temperatura do ar .....	95
Tabela 5.6 - Número de coletas de vazão em função das horas do dia.....	97
Tabela 5.7 - Vazão x horas do dia – obtenção do valor médio diário.....	98
Tabela 5.8 - Média das concentrações de DBO (mgO <sub>2</sub> /l) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de 1°C de temperatura.....	100
Tabela 5.9 - Média das concentrações de DBO (mgO <sub>2</sub> /l) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de 5°C de temperatura.....	101

Tabela 5.10 - Média das concentrações de DBO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de $10^\circ\text{C}$ de temperatura.....	101
Tabela 5.11 - Média das concentrações de DBO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de $20^\circ\text{C}$ de temperatura.....	101
Tabela 5.12 - Cargas orgânicas e taxa de aplicação superficial em função da temperatura do ar (para uma vazão média diária de $6,11\text{l/s}$ ).....	103
Tabela 5.13 - Comparação entre as cargas máximas determinadas pelas equações $L_s = f(T)$ .....	107
Tabela 5.14 - Comparação entre as áreas geradas pelas equações $L_s = f(T)$ , para uma população de 4984 habitantes com uma contribuição individual de $54\text{gDBO}_5/\text{hab.dia}$ .....	108
Tabela 5.15 - Relação percentual entre as áreas obtidas entre as equações da literatura e a equação proposta neste trabalho .....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	porcentagem
°C	grau celsius
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CH <sub>4</sub>	metano
CO <sub>2</sub>	gás carbônico
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DQO	demanda química de oxigênio
ETE	estação de tratamento de esgotos
EPA	United States Environmental Protection Agency
h.	hora
ha	hectare
hab	habitante
H <sub>2</sub> S	Sulfeto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	quilograma
l	litro
Ls	taxa de aplicação superficial
m	metro
MO	matéria orgânica
mg	miligramas
ml	mililitro
mm	milímetros
N <sub>2</sub>	nitrogênio gasoso
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitrato
nº	número
O <sub>2</sub>	oxigênio
Obs.	observação
OD	oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
p	página
P	fósforo
pH	potencial hidrogeniônico

SO <sub>4</sub>	Sulfato
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SSusp	Sólidos Suspensos
T	temperatura
t	unidade de tempo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	OBJETIVOS .....	18
2.1	Objetivo Geral .....	18
2.2	Objetivos específicos .....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	Tratamento biológico de esgotos .....	19
3.2	Classificação dos organismos.....	19
3.3	Metabolismo dos microorganismos.....	20
3.4	Geração de energia nas células .....	22
3.5	Caracterização da matéria carbonácea .....	24
3.6	Processos de conversão de matéria carbonácea .....	25
3.6.1	Conversão aeróbia.....	25
3.6.2	Conversão anaeróbia.....	25
3.7	Lagoas de estabilização.....	26
3.8	Vantagens e desvantagens dos sistemas de lagoas de estabilização.....	27
3.9	Tipos de lagoas de estabilização .....	27
3.10	Sistemas de lagoas.....	28
3.11	Lagoas facultativas .....	28
3.12	Aspectos biológicos do processo de tratamento por lagoas facultativas ....	29
3.13	Influência da temperatura .....	30
3.14	Influência das algas .....	31
3.15	Variação do OD nas lagoas facultativas .....	32
3.16	Variação do pH nas lagoas facultativas .....	33
3.17	Geração de maus odores.....	34
3.18	A estratificação térmica e a importância da mistura.....	35
3.19	CrITÉRIOS de dimensionamento de lagoas facultativas .....	36
3.19.1	Tempo de detenção hidráulico.....	36
3.19.2	Taxa de aplicação superficial ( $L_s$ ).....	37
3.19.3	Profundidade.....	38
3.20	Taxas de aplicação superficial empíricas.....	40
3.21	Taxas de aplicação superficial relacionadas à temperatura.....	41
3.21.1	Método proposto por McGarry & Pescod em 1970.....	41

3.21.2	Método proposto por Mara em 1976.....	41
3.21.3	Método proposto por Arthur em 1983 .....	42
3.21.4	Método proposto por Marks em 1993 .....	42
3.21.5	Método proposto pela OMS em 1987 .....	42
3.21.6	Método proposto por Yanez em 1986.....	43
3.21.7	Método proposto por Mara em 1992.....	43
3.22	Taxas de aplicação superficial relacionadas a latitude .....	43
3.23	Relação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto .....	44
3.24	Eficiência das lagoas facultativas.....	45
3.25	Sistema unitário de coleta de esgotos .....	46
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
4.1	Descrição da estação de tratamento de esgotos de Rosário do Sul – RS..	48
4.1.1	Apresentação geral da ETE.....	48
4.1.2	Parâmetros monitorados no laboratório da ETE .....	51
4.1.3	Pontos de amostragem.....	52
4.1.4	Freqüência de amostragens .....	52
4.1.5	Procedimentos analíticos.....	52
4.1.5.1	Temperatura.....	53
4.1.5.2	pH.....	53
4.1.5.3	Sólidos sedimentáveis.....	54
4.1.5.4	Sólidos suspensos .....	54
4.1.5.5	Sulfetos .....	55
4.1.5.6	Oxigênio dissolvido .....	56
4.1.5.7	Demanda bioquímica de oxigênio .....	57
4.2	Avaliação da influência da temperatura do ar sobre o processo de decomposição dos esgotos na ETE Rosário do Sul.....	58
4.2.1	Análise de consistência dos dados .....	58
4.2.2	Correlações entre a temperatura do esgoto e a temperatura do ar .....	59
4.2.3	Comportamento dos parâmetros OD, pH e sulfetos em função da temperatura do ar e evolução destes parâmetros entre os pontos do sistema..	60
4.2.4	Remoção de sólidos suspensos e de sólidos sedimentáveis ao longo do sistema.....	61
4.2.5	Variação da vazão em função da temperatura do ar e das horas do dia. .....	61

4.2.6	Concentrações de matéria orgânica e variação da eficiência de remoção de DBO em função da temperatura do ar. ....	62
4.2.7	Equações $L_s = f(T)$ .....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
5.1	Consistência dos dados .....	65
5.2	Correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto .....	70
5.3	Comportamento dos parâmetros OD, pH e sulfetos em função da temperatura do ar e evolução destes parâmetros entre os pontos do sistema .....	74
5.3.1	Evolução do oxigênio dissolvido .....	83
5.3.2	Evolução do pH.....	84
5.3.3	Evolução de sulfetos.....	85
5.3.4	Variação horária e mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH e sulfetos .....	85
5.4	Remoção de sólidos suspensos e de sólidos sedimentáveis ao longo do sistema .....	86
5.4.1	Sólidos sedimentáveis .....	90
5.4.2	Sólidos suspensos.....	91
5.5	Variação da vazão em função da temperatura do ar e das horas do dia ....	92
5.6	Concentrações de matéria orgânica e eficiência de remoção de DBO em função da temperatura do ar.....	99
5.7	Equações $L_s = f(T)$ estabelecidas neste estudo .....	103
6	CONCLUSÕES .....	111
7	RECOMENDAÇÕES.....	113
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
9	ANEXOS .....	118
9.1	ANEXO I – Variação horária e mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH e Sulfetos (média horária dos parâmetros – máximos e mínimos) .....	118
9.2	ANEXO II – Variação mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH, e Sulfetos (média mensal dos parâmetros – máximos e mínimos).....	125
9.3	ANEXO III – Tabela de médias mensais dos parâmetros monitorados ....	132

# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o processo de urbanização vem apresentando crescimento acelerado. O percentual de domicílios urbanos, em 1970, era de 58,3% do total de domicílios brasileiros, atingindo 83,3% no ano de 2000 (IBGE, 2005).

Dados da última pesquisa nacional de saneamento básico, realizada no ano de 2000, indicaram que apenas 41% do total de distritos brasileiros tinham rede coletora de esgotos, e apenas 14% possuíam tratamento (IBGE, 2002).

Esse aumento da taxa de urbanização, que gera cargas poluidoras pontuais cada vez maiores, aliado à falta de investimentos no setor de saneamento constitui um dos principais problemas de saúde pública no país.

Um dos grandes desafios dos profissionais envolvidos na área de saneamento é tentar melhorar este quadro. Para isso, os engenheiros procuram desenvolver e aperfeiçoar sistemas de tratamento que sejam eficientes e que ao mesmo tempo possuam baixos custos operacionais e de implantação.

Entende-se que quanto mais simples o processo de tratamento menores esses custos, e maiores as chances de aplicação.

Segundo Sperling (1996c), os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento dos esgotos, sendo que dentre as suas variantes, o tipo lagoas facultativas é o mais simples de todos. Neste tipo de sistema o esgoto é decomposto através de processos naturais, que não implicam em gastos com energia, e por conseqüência, não geram grandes custos operacionais. Além disso, esses sistemas são quase sempre executados em terra e os custos de implantação de uma lagoa facultativa são normalmente pequenos.

Nas lagoas facultativas ocorrem simultaneamente processos de decomposição aeróbia e anaeróbica de matéria orgânica, fazendo com que esta lagoa não apresente mau cheiro. O gás sulfídrico (principal responsável pelo mau cheiro) que é gerado na camada anaeróbia da parte inferior da lagoa é oxidado bioquimicamente na camada aeróbia superior. Esta característica favorece sua inserção nos ambientes urbanos.

Entretanto, este tipo de lagoa apresenta um aspecto negativo que dificulta sua aplicação. Ela requer grandes áreas de implantação. Essas áreas são determinadas pelos métodos de cálculo que são usados para dimensionar este tipo

de lagoa. Os principais métodos de cálculo para dimensionamento de lagoas facultativas são baseados na temperatura do ar. Basicamente, quanto maior a temperatura do local, menor a área requerida.

Todas as reações físicas, químicas, e biológicas, envolvidas nos processos de decomposição da matéria orgânica são diretamente influenciadas pela temperatura do esgoto. Pode-se dizer, que a estabilização dos esgotos realizada dentro de uma lagoa facultativa é preponderantemente comandada pela temperatura do esgoto.

Desta forma, para que se possa aperfeiçoar o dimensionamento das lagoas facultativas, é necessário entender como se dá essa influência da temperatura sobre o sistema. Para isso procurou-se avaliar um sistema de lagoas facultativas existente, sujeito a uma variação de temperatura, com o maior número de dados de monitoramento possível.

Encontrou-se, então, para este estudo, a estação de tratamento de esgotos da cidade de Rosário do Sul, que é um dos sistemas de tratamento mais antigos do estado, é operada pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN e, atualmente, encontra-se inserida no perímetro urbano do município.

Esta estação é composta por duas lagoas facultativas em série, que recebem o esgoto de uma população aproximada de 4984 pessoas.

O trabalho é desenvolvido sobre os boletins de monitoramento da qualidade do esgoto da estação. Estes boletins constituem uma série de dados de mais de vinte anos.

A CORSAN possui, neste trabalho, um papel fundamental por ter disponibilizado os dados laboratoriais da estação de tratamento de esgotos da cidade de Rosário do Sul, além de permitir que o autor deste trabalho tivesse amplo acesso as instalações físicas da estação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência da temperatura na decomposição dos esgotos domésticos em duas lagoas facultativas dispostas em série na estação de tratamento de esgotos da cidade de Rosário do Sul.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Definir as correlações entre a temperatura do esgoto e a temperatura do ar para três pontos do sistema de lagoas (ponto A – entrada do sistema; ponto B – efluente lagoa primária; ponto C - efluente lagoa secundária);
- Analisar o comportamento dos parâmetros de oxigênio dissolvido, pH e sulfetos em função da temperatura do ar para os pontos A, B e C e observar a evolução desses parâmetros entre os pontos;
- Verificar a remoção de sólidos suspensos e de sólidos sedimentáveis ao longo do sistema;
- Avaliar a variação da vazão em função das variações sazonais da temperatura do ar e das horas do dia;
- Avaliar as concentrações de matéria orgânica nos três pontos do sistema, e a variação da eficiência de remoção de matéria orgânica em função da variação de temperatura do ar;
- Estabelecer, para a lagoa facultativa primária, secundária e para o sistema, equações do tipo  $L_s = f(T)$ , que relacionam a taxa de aplicação superficial, expressa em kgDBO5/ha.dia, à temperatura do ar.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Tratamento biológico de esgotos**

Segundo Brito (2004), tratar os esgotos é adequar convenientemente os efluentes sanitários aos corpos receptores, ou seja, é criar condições para que os efluentes sanitários ao serem lançados aos corpos receptores não causem impactos ambientais significativos.

O processo de tratamento biológico dos esgotos consiste, basicamente, na conversão da matéria orgânica em produtos finais estabilizados mediante reações bioquímicas aeróbias ou anaeróbias. Esta conversão é conhecida como estabilização da matéria orgânica.

De acordo com Sperling (1996b), os principais organismos envolvidos no tratamento dos esgotos são as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. Dentre estes, as bactérias são, sem dúvida, os mais importantes na estabilização da matéria orgânica.

Os objetivos do tratamento dos esgotos são:

- Remoção da matéria orgânica;
- Remoção de sólidos;
- Remoção de organismos patogênicos;
- Remoção de nutrientes (N, P).

Para Gasi (1988), o objetivo do tratamento é remover as impurezas físicas, químicas e biológicas, principalmente os organismos patogênicos.

#### **3.2 Classificação dos organismos**

Segundo Metcalf&Eddy (1991), para desempenhar seu crescimento, locomoção e reprodução, todos os organismos vivos necessitam de uma fonte de energia, de carbono (para a síntese de novo material celular) e de nutrientes (nitrogênio, magnésio, fósforo, potássio, cálcio etc).

As formas de obtenção de energia e de carbono sugerem a divisão dos organismos em classes diferentes.

Quanto à fonte de carbono os organismos podem ser divididos em:

- seres autótrofos: dióxido de carbono (gás carbônico);
- seres heterótrofos: carbono orgânico (matéria orgânica).

Quanto à fonte de energia:

- Seres fototróficos: energia luminosa;
- Seres quimiotróficos: energia das reações químicas.

A classificação dos microorganismos pela fonte de energia e de carbono pode ser visualizada na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Classificação geral dos organismos baseada nas fontes de energia e de carbono

Classificação		Fonte de energia	Fonte de carbono	Organismos representativos
Autotróficos	Fotoautotróficos	Luz	CO <sub>2</sub>	Plantas superiores, algas, bactérias fotossintéticas
	Químioautotróficos	Matéria orgânica	CO <sub>2</sub>	Bactérias
Heterotróficos	Fotoheterotróficos	Luz	Matéria orgânica	Bactérias fotossintéticas
	Quimioheterotróficos	Matéria orgânica	Matéria orgânica	Bactérias, fungos, protozoários e animais

Fonte: adaptado de Metcalf&Eddy (1991)

### 3.3 Metabolismo dos microorganismos

Segundo Sperling (1996b), *metabolismo* é como se denominam os processos químicos que ocorrem na célula. O metabolismo pode ser dividido em duas etapas:

- *desassimilação ou catabolismo*: nesta etapa ocorre a degradação do substrato e a produção de energia;
- *assimilação ou anabolismo*: com a energia produzida na desassimilação, ocorrem reações que levam à formação de material celular e conseqüente crescimento.

Os organismos crescem as custas da energia liberada na desassimilação. Na desassimilação, a energia armazenada em forma química nos compostos orgânicos (substrato) é liberada, sendo convertida na assimilação em material celular. O crescimento líquido é resultante do balanço entre o anabolismo (positivo) e o catabolismo (negativo).

Em ambas as categorias, as transformações químicas ocorrem numa seqüência de diversas reações químicas, cada qual catalizada por um tipo de enzima. A maioria das enzimas está localizada dentro da célula (*endoenzimas*), no entanto, algumas enzimas são lançadas no meio externo (*exoenzimas*).

As exoenzimas desempenham reações de hidrólise fora da célula, convertendo grandes moléculas de substrato em moléculas menores, as quais passarão pela membrana celular, tornando-se disponíveis para o consumo pela célula.

A remoção de matéria orgânica originária dos esgotos ocorre por meio de processos de dessasimilação ou catabolismo. Os dois tipos de catabolismo de interesse no tratamento dos esgotos são:

- catabolismo oxidativo (oxidação da matéria orgânica);
- catabolismo fermentativo (fermentação da matéria orgânica).

O catabolismo oxidativo é uma reação redox na qual a matéria orgânica celular é oxidada por um agente oxidante presente no meio líquido (oxigênio, nitrato ou sulfato).

No catabolismo fermentativo não há um oxidante. O processo ocorre devido a um rearranjo dos elétrons na molécula fermentada, de tal forma que se formam no mínimo dois produtos. Geralmente há necessidade de várias fermentações seqüenciais para que os produtos se tornem estabilizados.

Tabela 3.2 - Principais características dos catabolismos oxidativo e fermentativo

Característica	Catabolismo oxidativo (respiração)	Catabolismo fermentativo (fermentação)
Doador de elétrons	Matéria orgânica	Matéria orgânica oxidada
Aceptor de elétrons	Externo: composto inorgânico (oxigênio, nitrato ou sulfato)	Interno: matéria orgânica reduzida
Número de produtos finais resultantes da matéria orgânica	Um (CO <sub>2</sub> )	No mínimo dois (CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> )
Forma do carbono no produto final	Carbono inorgânico oxidado (CO <sub>2</sub> )	Carbono inorgânico oxidado (CO <sub>2</sub> ) + carbono orgânico reduzido (CH <sub>4</sub> )
Estado de oxidação do carbono no produto final	4+ (CO <sub>2</sub> )	4 + (CO <sub>2</sub> ) 4- (CH <sub>4</sub> )

Fonte: Sperling (1996b)

### 3.4 Geração de energia nas células

Dependendo do microorganismo, a geração de energia nas células pode ser efetuada por meio de respiração (catabolismo oxidativo) ou de fermentação (catabolismo fermentativo).

A denominação de respiração não é exclusiva apenas aos processos que envolvem consumo de oxigênio. A oxidação implica na perda de elétrons da substância oxidada chamada de doador de elétrons. Os elétrons retirados da molécula oxidada são transferidos através de reações bioquímicas, com o auxílio de enzimas, a um outro composto inorgânico (agente oxidante), o qual recebe a denominação de acceptor de elétrons.

Os principais aceptores de elétrons utilizados na respiração encontram-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Aceptores de elétrons típicos das reações de oxidação no tratamento de esgotos (listados na ordem decrescente de liberação de energia)

Condições	Aceptor de elétrons	Forma do acceptor após a reação	Processo
Aeróbias	Oxigênio (O <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O	Metabolismo aeróbio
Anóxicas (ausência de oxigênio na presença de nitratos)	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Nitrogênio gasoso (N <sub>2</sub> )	Redução de nitratos (desnitrificação)
Anaeróbias	Sulfato(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Sulfeto (H <sub>2</sub> S)	Redução de Sulfatos (dessulfatação)
	Dióxido de carbono(CO <sub>2</sub> )	Metano (CH <sub>4</sub> )	Metanogênese

Fonte: Sperling (1996b).

Quando vários aceptores de elétrons se encontram disponíveis no meio, o sistema utiliza aquele que produz a mais alta quantidade de energia. Por essa razão, o oxigênio dissolvido é utilizado primeiramente e, após sua exaustão, o sistema deixa de ser aeróbio.

Caso haja nitratos disponíveis no meio líquido, os organismos capazes de utilizar nitrato utilizam compostos oxidados, convertendo o nitrato a nitrogênio gasoso.

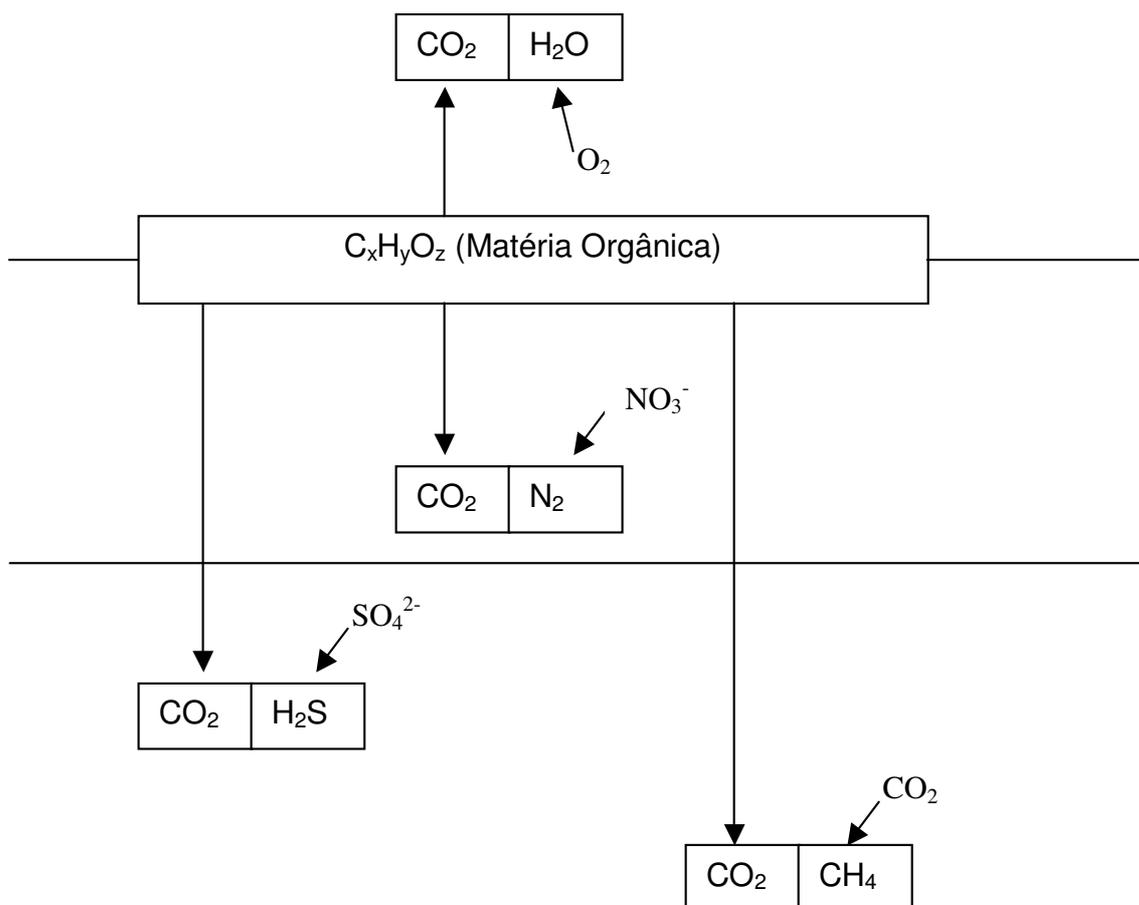
Quando os compostos oxidados se extinguem, têm-se as condições estritamente anaeróbias. Nestas condições as bactérias utilizam os sulfatos, os quais são reduzidos a sulfetos, e o dióxido de carbono, que é convertido em metano.

A Figura 1 apresenta as principais rotas de decomposição da matéria orgânica na presença dos diferentes aceptores de elétrons.

Existem organismos adaptados funcionalmente para as diversas condições de respiração, distinguindo-se os seguintes, que são de fundamental importância no tratamento de esgotos:

- organismos estritamente aeróbios: utilizam somente o oxigênio livre na sua respiração;
- organismos facultativos: podem utilizar o oxigênio livre (preferencialmente) ou o nitrato como aceptor de elétrons;
- organismos estritamente anaeróbios: utilizam o sulfato ou o dióxido de carbono como aceptores de elétrons.

É liberada mais energia através das reações aeróbias do que através das anaeróbias, por isso, os organismos aeróbios se reproduzem mais rapidamente e a estabilização aeróbia da matéria orgânica se processa a taxas mais rápidas que a anaeróbia (SPERLING, 1996b).



Fonte: Sperling (1996b)

Figura 1 - Principais rotas de decomposição da matéria orgânica na presença de diferentes aceptores de elétrons

### 3.5 Caracterização da matéria carbonácea

Segundo Sperling (1996b), a matéria orgânica carbonácea pode ser dividida quanto a sua biodegradabilidade em:

- matéria orgânica inerte (não biodegradável): não sofre mudanças ao passar por um sistema de tratamento;
- matéria orgânica biodegradável: quando passa por um sistema de tratamento sofre alterações (se decompõe).

A matéria orgânica biodegradável pode ser dividida em duas frações:

- Rapidamente/facilmente biodegradável: normalmente se apresenta na forma solúvel, consistindo de moléculas relativamente simples. Tais moléculas

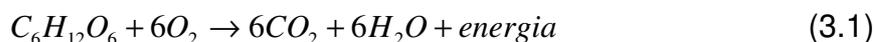
podem facilmente penetrar na célula bacteriana através da membrana celular. Dentro da célula esta matéria orgânica é consumida pelas endoenzimas.

- Lentamente biodegradáveis: normalmente apresenta-se na forma particulada, em moléculas maiores. Consiste de moléculas relativamente complexas, que não são utilizadas diretamente pelas bactérias. Para que tal ocorra, é necessária a conversão em matéria solúvel, através da atuação das exoenzimas. Este mecanismo de conversão, denominado hidrólise, não envolve utilização de energia, mas resulta numa demora no consumo da matéria orgânica.

### 3.6 Processos de conversão de matéria carbonácea

#### 3.6.1 Conversão aeróbia

A equação geral da respiração aeróbia pode ser expressa como:

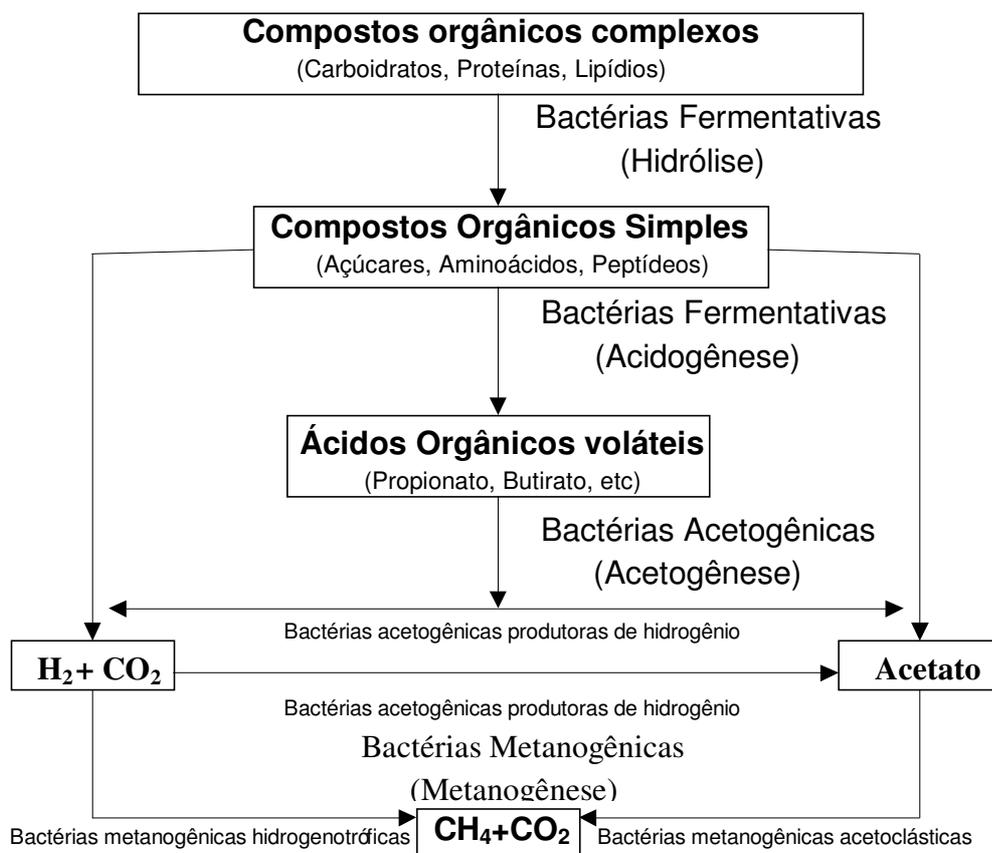


#### 3.6.2 Conversão anaeróbia

A conversão da matéria carbonácea em condições anaeróbias processa-se, simplificada, da seguinte forma:



Este processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro estágios: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, conforme mostra a figura 2:



Fonte: Chernicharo (1997)

Figura 2 - Seqüência metabólica e microorganismos envolvidos na digestão anaeróbia

### 3.7 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem, e destinado a armazenar e tratar resíduos líquidos de natureza orgânica.

Nestas lagoas, o tratamento é feito através de processos naturais: físicos, químicos e bioquímicos, denominados *autodepuração* ou *estabilização*. Esses processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são os responsáveis pela transformação da matéria orgânica em produtos finais mais estabilizados (UEHARA, 1989).

### **3.8 Vantagens e desvantagens dos sistemas de lagoas de estabilização**

Segundo Mendonça (2001), as principais vantagens dos sistemas de lagoas de estabilização são:

- Baixo custo;
- Necessitam de pouco ou nenhum componente importado;
- Nulo consumo energético;
- Simples de construir e operar;
- Confiáveis e fáceis de manter;
- Podem absorver aumentos bruscos de cargas hidráulicas ou orgânicas;
- Elevada estabilização de matéria orgânica;
- Produzem efluentes de alta qualidade de redução de microorganismos patogênicos.

A única desvantagem das lagoas de estabilização é que requerem mais área do que qualquer outro tipo de tratamento.

### **3.9 Tipos de lagoas de estabilização**

Basicamente, as lagoas de estabilização podem ser classificadas, quanto à atividade biológica predominante em: anaeróbias, aeróbias e facultativas (Oswald, 1960).

Nas lagoas anaeróbias, a maior porção da carga de DBO aplicada é decomposta através de respiração anaeróbica (fermentação ácida e metanogênica).

Nas lagoas aeróbias, a decomposição da matéria orgânica se faz somente por mecanismos de oxidação aeróbia.

Nas lagoas facultativas, a remoção da DBO ocorre graças ao processo aeróbio na superfície e ao processo anaeróbio no fundo.

Um outro tipo de classificação que pode ser feito é quanto ao objetivo da remoção das lagoas. Existem lagoas que objetivam apenas a remoção da matéria orgânica, e existem lagoas que visam a remoção de patogênicos. As lagoas que tem por objetivo apenas a remoção de patogênicos são denominadas lagoas de polimento ou lagoas de maturação (KAWAI, 1990).

### 3.10 Sistemas de lagoas

O tratamento pode ser realizado em apenas uma, duas ou mais lagoas, sendo elas dispostas em série ou em paralelo. Quando o tratamento se processa em mais de uma lagoa, cada lagoa denomina-se célula e o conjunto, denomina-se *sistema de lagoas*.

A primeira lagoa de um sistema de lagoas recebe esgoto bruto, e por isso é chamada de lagoa primária. As demais recebem esgoto tratado e são chamadas de secundária, terciária e assim por diante.

Os tipos de lagoas anteriormente citados podem ser associados de várias maneiras formando diversos tipos de sistemas de lagoas: pode-se ter uma lagoa facultativa única (sistema unicelular); é possível associar várias lagoas facultativas (em série e/ou paralelo); também é muito comum associar uma lagoa anaeróbia a uma facultativa (sistema australiano).

Além destes, muitos são os arranjos existentes. Cada arranjo que se constrói possui diferentes requisitos de área, diferentes necessidades operacionais e apresentam diferentes eficiências de tratamento, (UEHARA, 1989).

### 3.11 Lagoas facultativas

Segundo Netto (1975), a expressão “lagoa facultativa” foi proposta por Willian J. Oswald, professor da Universidade da Califórnia, para caracterizar as lagoas fotossintéticas mais comuns descritas na literatura.

Segundo Sperling (1996a), as lagoas facultativas são consideradas a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam.

Essa simplicidade no processo de tratamento remete a baixos custos operacionais, pois neste tipo de sistema, não há a necessidade de equipamentos especiais, como aeradores, misturadores ou raspadores.

Como os processos biológicos nesse sistema são puramente naturais, são necessários grandes tempos de detenção para que a estabilização da matéria orgânica possa ocorrer. Esses longos tempos de detenção implicam em grandes áreas de implantação.

Assim, a implantação das lagoas facultativas torna-se muito interessantes em locais onde há disponibilidade de área, como é o caso do Brasil na grande maioria de seus municípios.

A construção destes sistemas é relativamente simples envolvendo apenas a movimentação de terra, e por vezes a impermeabilização do fundo por mantas sintéticas, ou argila compactada, para que o esgoto em tratamento não venha a infiltrar no terreno, ocasionando a contaminação do lençol freático.

### **3.12 Aspectos biológicos do processo de tratamento por lagoas facultativas**

Segundo Sperling (1996c), a decomposição dos esgotos domésticos em um sistema de lagoas facultativas ocorre em duas zonas distintas, denominadas: zona anaeróbia e zona aeróbia.

A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbica). Este lodo sofre o processo de decomposição por microorganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros. Após um certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo. O gás sulfídrico gerado na camada anaeróbica inferior não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado por processos químicos e bioquímicos na camada aeróbia superior.

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada), não sedimenta permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial, tem-se a zona aeróbia. Nesta zona, a matéria orgânica é oxidada por meio da respiração aeróbia. Há necessidade de presença de oxigênio, o qual é introduzido no meio pela fotossíntese realizada pelas algas.

- Tem-se assim um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico. As bactérias no processo respiratório, consumindo

oxigênio e produzindo gás carbônico e as algas, realizando a fotossíntese, produzindo oxigênio e consumindo gás carbônico.

Deve-se lembrar que as reações de fotossíntese e respiração são similares, porém se realizam em direções opostas:

- Fotossíntese:



- Respiração:



Segundo Aisse (2000), esta relação entre algas e bactérias é chamada de simbiose.

### 3.13 Influência da temperatura

Para Victoretti (1973) a temperatura é um dos fatores mais importantes, senão o principal, no desenvolvimento do processo de tratamento dos esgotos em lagoas de estabilização. Todos os fenômenos que ocorrem neste processo, físico, químico ou biológico, são afetados de maneira maior ou menor pela variação da temperatura ambiente.

Parâmetro incontornável e de grande importância para o bom funcionamento de uma lagoa, a temperatura relaciona-se com a radiação solar e afeta tanto a velocidade da fotossíntese quanto à do metabolismo das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos.

A atividade biológica decresce à medida que cai a temperatura, podendo-se grosseiramente prever que uma queda de 10°C na temperatura reduzirá a atividade microbiológica à metade.

Além disso, a temperatura influi diretamente no predomínio de algumas espécies de algas sobre outras e, em consequência, sobre o oxigênio fotossintético produzido. Segundo Oswald (1960), as algas podem desenvolver-se bem numa faixa de temperatura que varia dos 4°C até os 40°C. A produção ótima de oxigênio ocorre em torno de 20-25°C. A partir de temperaturas próximas aos 35°C, a atividade fotossintética das algas decresce: as algas verdes (*Chlorophytas*) tendem a diminuir

ou desaparecer e as Euglenas (*Euglenophytas*) passam a predominar. Acima dos 35°C, prevalecem as algas azuis (*Cyanophytas*).

Gloyna (1971), ao formular equações para projetos de lagoas de estabilização, constatou que a velocidade das reações químicas aumenta grandemente quando a temperatura local sobe. Segundo esse autor o rendimento das lagoas é grandemente afetado pela variação de temperatura.

Resumidamente, em locais de clima quente as lagoas facultativas suportam uma maior carga orgânica por unidade de área (hectare). Sendo assim, lagoas a serem implantadas em locais de altas temperaturas necessitam de áreas menores do que as implantadas em locais de clima frio.

### **3.14 Influência das algas**

Nas lagoas facultativas, as algas desempenham um papel de grande importância, inserindo oxigênio no meio líquido. A sua concentração é mais elevada do que a de bactérias, fazendo com que o líquido na superfície seja predominantemente verde.

Os principais tipos de algas encontrados nas lagoas de estabilização são:

- algas verdes (clorófitas): conferem a cor esverdeada à lagoa. Os principais são as *Chlamydomonas*, *Euglena* e *Chlorella*. São típicas de locais com pH alto;
- algas azuis: os principais gêneros são as *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anacystis* e *Anabaena*. São típicas de locais com pH baixo.

As algas fazem a fotossíntese durante o dia, quando há radiação luminosa. Nesse período elas produzem a matéria orgânica necessária para a sua sobrevivência, convertendo energia luminosa em energia química. Durante as 24 horas do dia elas respiram, oxidando a matéria orgânica produzida, e liberando a energia para o crescimento, reprodução, locomoção e outros. O balanço entre a fotossíntese e a respiração favorece amplamente o primeiro. As algas produzem cerca de 15 vezes mais oxigênio do que consomem, conduzindo a um saldo positivo no sistema.

Devido à necessidade de energia luminosa, a maior quantidade de algas situa-se próximo à superfície da lagoa. Nos primeiros 50cm da lagoa é onde ocorre a maior intensidade de energia luminosa.

Há um ponto, ao longo da profundidade da lagoa, onde a produção de oxigênio pelas algas se iguala ao consumo pelas próprias algas e pelos demais microorganismos decompositores. Este ponto é denominado *oxipausa*.

Abaixo da oxipausa predominam a decomposição anaeróbia e anóxicas, e acima predominam as condições aeróbias. O nível da oxipausa varia ao longo das horas do dia (SPERLING, 1996).

### **3.15 Variação do OD nas lagoas facultativas**

Segundo Mendonça (2001) o oxigênio dissolvido é o melhor indicador de uma operação satisfatória em uma lagoa facultativa.

O oxigênio dissolvido em uma lagoa facultativa é inserido através da fotossíntese das algas. A temperatura e a radiação solar aceleram a fotossíntese; assim, quanto maior a temperatura, maior a quantidade de oxigênio inserido no sistema.

Como a temperatura varia ao longo do dia, a concentração de OD também varia ao longo do dia. Além disso, como a temperatura do ar varia de acordo com as estações climáticas do ano, a concentração de OD também varia ao longo do ano.

De um modo geral, pode-se dizer que a concentração OD depende do clima do local onde as lagoas estão inseridas.

No caso do Rio Grande do Sul, onde o clima é subtropical com verões rigorosos e invernos intensos, e onde a temperatura varia intensamente, as concentrações de OD também apresentam grande variação. Segundo Tadesse (2003) as variações OD em lagoas facultativas seguem o ciclo diurno da intensidade luminosa do sol.

### 3.16 Variação do pH nas lagoas facultativas

O pH varia ao longo da profundidade e ao longo do dia. O pH depende da fotossíntese e da respiração através da seguinte relação:

Fotossíntese:

- consumo de  $\text{CO}_2$ ;
- o íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) do esgoto tende a se converter em  $\text{OH}^-$ ;
- o pH se eleva.

Respiração:

- produção de  $\text{CO}_2$ ;
- o íon bicarbonato tende a se converter a  $\text{H}^+$ ;
- o pH se reduz.

Assim, a superfície da lagoa possui um valor de pH maior do que o fundo.

Segundo Silva e Mara (1979), o  $\text{CO}_2$  pode diminuir muito durante as horas claras do dia, quando a atividade fotossintética das algas supera a respiração das bactérias. Como consequência, há uma elevação do pH nestas horas devido a dissociação dos íons de bicarbonato em íons de hidroxila.

Durante o dia, nas horas de máxima atividade fotossintética, o pH pode atingir valores em torno de 10. Nestas condições de elevado pH, podem ocorrer os seguintes fenômenos:

- conversão da amônia ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) a amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), a qual é tóxica, mas tende a se liberar para a atmosfera;
- precipitação dos fosfatos (remoção de nutrientes);
- conversão do sulfeto ( $\text{H}_2\text{S}$ ) causador do mau cheiro a bissulfeto ( $\text{HS}^-$ ) inodoro.

Segundo Mendonça (2001), nas lagoas facultativas, quando a cor da lagoa se apresenta verde escuro, o valor de pH provavelmente está alto (alcalinidade). Quando a cor está verde amarelada, está se iniciando o processo de acidificação.

Segundo Branco (1971), altos valores de pH acima de 9,0 podem causar a precipitação do fósforo sob forma de orto-fosfatos insolúveis, limitando o crescimento das algas.

Para Kayombo et al (2002), os níveis de pH em uma lagoa facultativa podem servir como indicador da performance do sistema da seguinte maneira:

- pH acima de 8 é produzido pelas taxas fotossintéticas que demandam mais  $\text{CO}_2$  do que as quantidades repostas pela respiração das bactérias e pela decomposição da matéria orgânica.
- pH abaixo de 8 indica a falha da fotossíntese em aproveitar completamente o  $\text{CO}_2$  produzido, e indica a presença de altas concentrações de  $\text{CO}_2$ .

### 3.17 Geração de maus odores

Segundo Jordão (2005), os odores dos esgotos são causados pelos gases formados no processo de decomposição.

Existem alguns tipos principais de odores, bem característicos:

- odor de mofo, razoavelmente suportável, típico de esgoto fresco;
- odor de ovo podre, “insuportável”, típico do esgoto séptico, que ocorre devido a formação de gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), proveniente da decomposição anaeróbia;
- odores variados, provenientes de produtos podres, como repolho (sulfetos orgânicos), legumes, peixe; de matéria fecal; de produtos rançosos; e amoniacais (amônia,  $\text{NH}_3$ ), de acordo com a predominância de produtos sulfurados, nitrogenados, ácidos orgânicos, etc.

Segundo Silva (1977), nos esgotos podem ser encontrados três formas de sulfetos:

- $\text{H}_2\text{S}$  dissolvido;
- íons de  $\text{HS}^-$ ;
- sulfetos metálicos solúveis em ácidos presentes nos sólidos em suspensão.

Podem ser realizadas três tipos de análises de sulfetos:

- sulfetos totais: incluem o  $\text{H}_2\text{S}$  dissolvido, os íons  $\text{HS}^-$  e os sulfetos metálicos solúveis em ácidos presentes nos sólidos em suspensão;
- sulfetos solúveis : são os que permanecem dissolvidos após a remoção dos sólidos em suspensão por meio de floculação e sedimentação;

- ácido sulfídrico não ionizado ( $H_2S$ ): calculado a partir do pH e da concentração de sulfeto solúvel.

Nas lagoas facultativas, o  $H_2S$  – sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico, é gerado na camada anaeróbica inferior da lagoa. O mau cheiro pode ser observado para concentrações acima de 1 mg  $H_2S/l$ .

O que acontece é que nas lagoas facultativas, estes gases são normalmente oxidados na parte superior da lagoa. Assim, as lagoas facultativas não apresentam mau cheiro. Esta característica lhes confere boa inserção em ambientes urbanos.

### **3.18 A estratificação térmica e a importância da mistura**

A estratificação térmica ocorre quando a camada superior da lagoa (líquido quente) não se mistura com a camada inferior (líquido frio) por diferença de densidade. O líquido na parte mais funda das lagoas de estabilização normalmente é mais denso e viscoso do que na superfície.

A estratificação térmica influencia o comportamento das algas da seguinte forma:

- as algas não motoras sedimentam, atingindo a zona escura da lagoa, deixando de produzir oxigênio, e implicando, pelo contrário, no consumo do mesmo;
- as algas motoras tendem a fugir da camada mais superficial de elevada temperatura, formando uma densa camada de algas a qual dificulta a penetração de energia solar.

Devido a esses aspectos em lagoas estratificadas há uma baixa presença de algas na zona fótica (zona com luz), o que reduz a produção de oxigênio do sistema e a sua capacidade de estabilizar a matéria orgânica.

A estratificação térmica pode ser quebrada por meio da mistura que em uma lagoa de estabilização ocorre principalmente através dos seguintes mecanismos: vento e diferencial de temperatura (inversão térmica - convecção).

A mistura é importante pois:

- minimiza a ocorrência de curto-circuitos hidráulicos;
- minimiza a ocorrência de zonas estagnadas;
- homogeneiza a distribuição vertical da DBO, algas e oxigênio;
- transporta para a zona fótica, as algas que não são motoras;

- transporta para as camadas mais profundas o oxigênio produzido pela fotossíntese na camada superior (SPERLING, 1996c).

### **3.19 Critérios de dimensionamento de lagoas facultativas**

Dimensionar uma lagoa facultativa significa, basicamente, determinar o comprimento, a largura e a profundidade que ela deverá possuir para tratar adequadamente os esgotos gerados por um determinado número de pessoas.

Segundo Kellner (1998), desde a década de 40, quando as lagoas de estabilização começaram a ser utilizadas como sistemas de tratamento de esgotos, muitos pesquisadores procuram descrever relações ou modelos matemáticos para o seu dimensionamento.

Segundo Sperling (1996c), os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são:

- Tempo de detenção hidráulico;
- Taxa de aplicação superficial;
- Profundidade.

O Tempo de detenção é o tempo necessário para que os microorganismos procedam à estabilização da matéria orgânica no reator (lagoa). O tempo de detenção relaciona-se, portanto, à atividade das bactérias.

A Taxa de aplicação superficial baseia-se na necessidade de se ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra. O objetivo de se garantir a fotossíntese e, indiretamente, o crescimento das algas, é o de se ter uma produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda de oxigênio. Assim, o critério da taxa de aplicação superficial é baseado na necessidade de oxigênio para estabilização da matéria orgânica. A taxa de aplicação superficial relaciona-se, portanto, à atividade das algas.

#### **3.19.1 Tempo de detenção hidráulico**

O volume requerido para a lagoa pode ser calculado com base no tempo de detenção adotado e na vazão de projeto. O tempo de detenção é expresso em dia.

$$V = t.Q \quad (3.5)$$

Sendo:

V = volume requerido para a lagoa (m<sup>3</sup>)

t = tempo de detenção (d)

Q = vazão média afluyente (m<sup>3</sup>/d)

O tempo de detenção varia com as condições climáticas locais, e principalmente com a temperatura. Normalmente adotam-se tempos de detenção variando de 15 a 45 dias, sendo que os maiores tempos de detenção são adotados para locais com temperaturas mais baixas.

### 3.19.2 Taxa de aplicação superficial (L<sub>S</sub>)

A área, a meia profundidade, requerida pela lagoa facultativa é calculada em função da taxa de aplicação superficial L<sub>S</sub>. A taxa de aplicação superficial corresponde à quantidade de carga orgânica que pode ser tratada por unidade de área por dia (por hectare). Assim ela é expressa em KgDBO<sub>5</sub>/ha.dia.

$$A = \frac{L}{L_S} \quad (3.6)$$

Sendo:

A = área requerida para a lagoa (ha)

L = carga de DBO total (solúvel + particulada) afluyente na lagoa (kgDBO<sub>5</sub>/dia)

L<sub>S</sub> = taxa de aplicação superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia)

A taxa a ser adotada varia com a temperatura local, latitude, exposição solar, altitude, e outros. Locais de clima e insolação favoráveis permitem a adoção de taxas bem elevadas, eventualmente superiores a 300kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia, o que implica em áreas superficiais pequenas.

Obs: Os critérios do tempo de detenção e da taxa de aplicação superficial são complementares, ou seja, a área e o volume obtidos devem ser coerentes. O

compromisso entre o volume e a área é estabelecido pela adoção de uma profundidade H para a lagoa.

### 3.19.3 Profundidade

A profundidade de uma lagoa facultativa deve ser adotada de forma a harmonizar a área, dada pela taxa de aplicação superficial, e o volume, dado pelo tempo de detenção

Assim,

$$H = V/A \quad (3.7)$$

Sendo:

H = profundidade da lagoa (m)

V = volume da lagoa em m<sup>3</sup>

A = área da lagoa em m<sup>2</sup>

Segundo Sperling (1996c), o conhecimento sobre a profundidade das lagoas facultativas ainda é limitado e, normalmente, adota-se a profundidade entre 1,5m e 3,0m.

Aisse (2000) relata que as profundidades usualmente adotadas são:

- para lagoas facultativas primárias: entre 1,5 a 2,0m;
- para lagoas facultativas secundárias : entre 1,2 a 2,0m;

Tabela 3.4 - Aspectos relacionados à profundidade das lagoas facultativas

Profundidade	Aspecto
Rasa	As lagoas rasas, com profundidades inferiores a 1m, podem se comportar como totalmente aeróbias.
	A área requerida é bem elevada, de forma a cumprir com o requisito do tempo de detenção.
	A penetração da luz ao longo da profundidade é praticamente total.
	A produção de algas é maximizada e o pH é usualmente elevado (devido a fotossíntese), acarretando a precipitação do fosfato (remoção de nutrientes).
	A remoção de patogênicos é maior

	<p>Devido a baixa profundidade, pode haver o desenvolvimento de uma vegetação emergente, potencial abrigo para larvas de mosquito.</p> <p>As lagoas rasas são mais afetadas pelas variações de temperatura ambiente ao longo do dia, podendo atingir condições anaeróbias em períodos quentes (aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica e maior influência da ressolubilização de subprodutos da decomposição anaeróbia no lodo do fundo).</p>
Profunda	<p>Lagoas com profundidade superiores a 1,2m possibilitam um maior tempo de detenção hidráulica para a estabilização da matéria orgânica.</p> <p>A performance é mais estável e menos afetada pelas condições ambientais.</p> <p>Há um maior volume de armazenamento do lodo.</p> <p>A camada inferior permanece em condições anaeróbias.</p> <p>A decomposição anaeróbia obviamente não consome oxigênio, sendo possível considerar a fração de matéria orgânica a ser degradada anaerobicamente no balanço de OD.</p> <p>Os subprodutos de decomposição anaeróbia são liberados para as camadas superiores, exercendo ainda alguma demanda de OD. Os riscos de mau odores são reduzidos, pelo fato da camada aeróbia oxidar química e biologicamente o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) gerado.</p> <p>As lagoas mais profundas permitem a expansão futura para inclusão de aeradores, transformando-se em lagoas aeradas.</p>

Fonte: Sperling (1996c).

Gloyna (1971) recomenda as seguintes profundidades para lagoas facultativas em função das condições ambientais e do tipo de esgoto:

Tabela 3.5 - Profundidades recomendadas para lagoas facultativas em função das condições ambientais e do tipo de esgoto

Profundidade	Condições ambientais e tipo de esgoto
1,0	Temperaturas quentes e uniformes esgoto pré sedimentado
1,0-1,5	Temperaturas quentes e uniformes Esgoto não tratado
1,5-2,0	Temperaturas com pequenas flutuações sazonais Esgoto com sólidos sedimentáveis
2,0-3,0	Temperatura com grandes variações sazonais Esgoto com grande quantidade de sólidos sedimentáveis

Fonte: Gloyna (1971)

### 3.20 Taxas de aplicação superficial empíricas

As taxas a seguir apresentadas são dadas para um determinado clima, para uma determinada faixa de temperatura, ou ainda, para uma determinada população.

Gloyna (1971) sugere as taxas de aplicação encontradas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Taxas de aplicação superficial para lagoas facultativas, para diferentes condições climáticas.

$L_S$ (kgDBO <sub>5</sub> /ha.dia)	População (hab/ha)	$\theta$ (dias)	Condições locais
<10	<200	>200	Regiões muito frias com coberturas sazonais de gelo, baixa temperatura da água
10 – 50	200 – 1000	200 - 100	Clima frio com cobertura sazonal de gelo ocasional, temperatura de verão temperada e presente por pequenos períodos.
50 – 150	1000 – 3000	100 - 33	Regiões temperadas, semitropicais, cobertura de gelo ocasional.
150 – 300	3000 – 7000	33 – 17	Regiões tropicais, sol e temperatura uniformemente distribuídos.

$\theta$  = tempo de detenção hidráulica

Fonte: Gloyna (1971)

Da tabela anterior, conclui-se que, se uma lagoa facultativa for dimensionada com uma taxa de aplicação superficial de 80kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia, ela vai apresentar adequado funcionamento em uma região temperada ou semitropical, e tratar satisfatoriamente os esgotos gerados por uma população de 1000 a 3000 pessoas por hectare de área.

Além de Gloyna, outros valores são sugeridos por outros autores, como pode ser observado na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Taxas de aplicação superficial, profundidades e tempos de detenção hidráulico empregados em lagoas facultativas

$L_S$ (kgDBO <sub>5</sub> /ha.dia)	Profundidade (m)	$\theta$ (dias)	Fonte
56 – 200	1,2 - 2,4	5 – 30	Metcalf&Eddy(1991)
200	1,0 - 2,0	-	Silva e Mara (1979)
50 – 320	1,0 – 2,0	15 – 35	Uehara e Vidal(1989)

$\theta$  = tempo de detenção hidráulica

Fonte: Kellner (1998)

### 3.21 Taxas de aplicação superficial relacionadas à temperatura

As taxas de aplicação relacionadas à temperatura do ar normalmente são apresentadas em uma equação  $L_S = f(T)$ . Assim, tem-se um valor de  $L_S$  para cada valor de temperatura que se insere na equação.

Muitos autores fizeram este equacionamento, em diferentes locais do mundo, inclusive no Brasil.

Segundo Mara (1991), Mara (1998a), Mara (1998b), Jordão (2005), Yanez (1984), Yanez (2000), Ellis & Rodrigues (1995), as fórmulas mais conhecidas para estimar a máxima carga orgânica que pode ser aplicada a uma lagoa em função da temperatura do ar são:

#### 3.21.1 Método proposto por McGarry & Pescod em 1970

McGarry e Pescod reuniram dados de 143 lagoas facultativas primárias existentes em todas as partes do mundo, com diferentes condições climáticas, operando com remoção de DBO de 72,5% em média, e mostraram que a máxima carga superficial de  $DBO_5$  que poderia ser aplicada a uma lagoa facultativa, antes que ela se tornasse completamente anaeróbia, estava relacionada com a temperatura média mensal do ar ambiente como segue:

$$L_S = 60,272 \times (1,0993)^{T_{ar}} \quad (3.8)$$

Sendo:

$L_S$  = taxa de carregamento superficial (kg $DBO_5$ /ha.dia);

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C).

válida para  $50kgDBO_5 / ha.dia \leq L_S \leq 500kgDBO_5 / ha.dia$

#### 3.21.2 Método proposto por Mara em 1976

Mara, analisando o estudo feito por McGarry&Pescod, observou que daqueles 143 pontos obtidos, havia 11 que não apresentavam eficiência adequada e outros pontos com a carga orgânica superficial acima de 600kg $DBO_5$ /ha.dia. Assim

Mara (1976) propôs uma alternativa para a consideração daquele conjunto de pontos: restringiu a temperatura entre 15°C e 30°C. Trabalhando então com esse conjunto de pontos, propôs a seguinte equação:

$$L_S = 20.T_{ar} - 120 \quad (3.9)$$

Sendo:

$L_S$  = taxa de carregamento superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia);

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C).

### 3.21.3 Método proposto por Arthur em 1983

Arthur modificou a equação de Mara para:

$$L_S = 20.T_{ar} - 60 \quad (3.10)$$

Sendo:

$L_S$  = taxa de carregamento superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia);

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C).

### 3.21.4 Método proposto por Marks em 1993

Marks, trabalhando em lagoas no Zimbabwe, mostrou que a relação naquelas lagoas deveria ser:

$$L_S = 20.T_{ar} - 90 \quad (3.11)$$

Sendo:

$L_S$  = taxa de carregamento superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia);

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C).

### 3.21.5 Método proposto pela OMS em 1987

Experiências em Israel sugeriram que as equações acima, que foram baseadas em estudos feitas nos trópicos, davam valores muito altos para serem

usadas na Europa Mediterrânea, onde as seguintes equações seriam mais adequadas:

$$L_s = 10.T \text{ para temperaturas entre } 10^{\circ}\text{C e } 20^{\circ}\text{C} \quad (3.12)$$

$$L_s = 50(1,072)^T \text{ para temperaturas superiores a } 20^{\circ}\text{C} \quad (3.13)$$

### 3.21.6 Método proposto por Yanez em 1986

Yanez, avaliando o sistema de lagoas de San Juan, Lima (Peru), mantendo quatro lagoas primárias com cargas superficiais entre 100 e 1200kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia, propôs a seguinte equação:

$$L_s = 357,4 \times (1,085)^{T_{\text{esgoto}} - 20} \quad (3.14)$$

$$L_s = 400,6 \times (1,0993)^{T_{\text{ar}} - 20} \quad (3.15)$$

### 3.21.7 Método proposto por Mara em 1992

Em um trabalho desenvolvido no Kenya, Mara propôs a seguinte equação:

$$L_s = 350 \times (1,107 - 0,002T)^{(T-25)} \quad (3.16)$$

Sendo:

$L_s$  = taxa de carregamento superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia);

$T$  = temperatura média do líquido no mês mais frio(°C).

## 3.22 Taxas de aplicação superficial relacionadas a latitude

Mara (1998b), em estudos desenvolvidos na Índia, sugere valores de  $L_s$  em função da latitude.

A relação entre  $L_s$  e a latitude pode ser expressa pela seguinte equação:

$$L_s = 375 - 6,25.Lat \quad (3.17)$$

Sendo:

$L_s$  = taxa de carregamento superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia);

Lat = latitude

Tabela 3.8 - Taxa de aplicação superficial em função da latitude para a Índia

Latitude (°)	L <sub>s</sub> (kgDBO <sub>5</sub> /há.dia)
36	150
32	175
28	200
24	225
20	250
16	275
12	300
8	325

Fonte: Mara (1998a)

Observando-se a Tabela 3.8, percebe-se que as maiores taxas de aplicação estão para as menores latitudes, ou seja para os locais de temperatura mais elevada.

### 3.23 Relação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto

Como foi possível observar no item 3.21, algumas fórmulas levam em consideração a temperatura do líquido e não a do ar. No desenvolvimento de um projeto de um sistema de tratamento de esgotos fica difícil definir essa temperatura, já que a maioria dos dados climáticos publicados se referem à temperatura do ar. Nesses casos a temperatura média do líquido pode ser estimada a partir das seguintes correlações:

$$T = 10,443 + 0,688 \cdot T_{ar} \quad (\text{Yanez, Lagoas de San Juan, Lima, Peru}). \quad (3.18)$$

$$T = 10,966 + 0,611 \cdot T_{ar} \text{ (lagoas experimentais de Campina Grande, Brasil)} \quad (3.19)$$

$$T = 2,688 + 0,945 \cdot T_{ar} \text{ (lagoas de Amman, Jordânia)} \quad (3.20)$$

$$T = 3,685 + 1,13 \cdot T_{ar} \text{ (lagoas de Melipilla, Chile)} \quad (3.21)$$

$$T = 12,7 + 0,54 \cdot T_{ar} \text{ (valor médio para um conjunto de 5 lagoas, 2 no Brasil, 2 no Peru, 1 na Jordânia)} \quad (3.22)$$

Segundo Jordão (2005), a adoção dessas equações deve ser feita considerando aspectos climatológicos similares, como radiação solar, evaporação e ventos. A última equação evidencia que na maior parte do ano (outono, primavera e leve inverno) a temperatura da lagoa é cerca de 2 a 3°C maior que a do ar; no verão ocorre o inverso, 1 a 3°C menor; e nos invernos mais fortes a temperatura do líquido é cerca de 5°C maior.

Esses dados se aplicam à temperatura média no líquido da lagoa. Pode-se admitir que a diferença de temperatura na superfície do líquido e a temperatura média no seu interior seja da ordem de 1 a 5°C. Segundo Metcalf&Eddy (1991) a temperatura do esgoto é ligeiramente maior que a do ar durante o inverno, e menor do que a temperatura do ar no verão porque o calor específico da água é maior do que o do ar.

### **3.24 Eficiência das lagoas facultativas**

A eficiência de um sistema de tratamento de esgotos diz respeito à capacidade de remoção de matéria orgânica, de sólidos, de organismos patogênicos e de nutrientes (N, P). A eficiência normalmente é expressa em %.

Segundo Jordão (2005), uma investigação recente, englobando 115 lagoas facultativas na região Sudeste do Brasil, mostrou que lagoas facultativas primárias apresentam uma eficiência média de 74% de remoção de matéria orgânica, enquanto nos sistemas em série (lagoas anaeróbias seguidas de facultativas) este índice chegou a 82%.

Segundo EPA (2006) as lagoas facultativas são capazes de alcançar eficiências de 75 a 95 % de eficiência de remoção de DBO, entretanto a remoção de sólidos suspensos totais é variável devido ao crescimento das algas. Durante os períodos de não alga, a remoção de sólidos suspensos totais pode chegar a 90%, entretanto, nas estações quentes a remoção é pouco significativa.

A tabela 3.9 apresenta a eficiência dos sistemas de lagoas facultativas em relação aos demais tipos de sistemas de tratamento.

Tabela 3.9 - Eficiência dos principais sistemas de tratamento de esgotos

Sistemas de Tratamento	Eficiência de Remoção (%)			
	DBO	N	P	Coliformes
Lagoa Facultativa	70 - 85	30 - 50	20 - 60	60 - 99
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	70 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 99,9
Lagoa aerada facultativa	70 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 96
Lagoa aerada mistura completa – lagoa decantação	70 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 99
Lodos ativados convencional	85 - 93	30 - 40	30 - 45	60 - 90
Lodos ativados (aeração prolongada)	93 - 98	15 - 30	10 - 20	65 - 90
Lodos ativados (fluxo intermitente)	85 - 95	30 - 40	30 - 45	60 - 90
Filtro biológico (baixa carga)	85 - 93	30 - 40	30 - 45	60 - 90
Filtro biológico (alta carga)	80 - 90	30 - 40	30 - 45	60 - 90
Biodiscos	85 - 93	30 - 40	30 - 45	60 - 90
Reator anaeróbio de manta de lodo	60 - 80	10 - 25	10 - 20	60 - 90
Fossa séptica – Filtro anaeróbio	70 - 90	10 - 25	10 - 20	60 - 90
Infiltração lenta	94 - 99	65 - 95	75 - 99	>99
Infiltração rápida	86 - 98	10 - 80	30 - 99	>99
Infiltração subsuperficial	90 - 98	10 - 40	85 - 95	>99
Escoamento Superficial	85 - 95	10 - 80	20 - 50	90 - >99

Fonte: Sperling (1996)

### 3.25 Sistema unitário de coleta de esgotos

O sistema unitário ou combinado é aquele em que as águas residuárias (domésticos e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetra no sistema através de tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema.

Os efluentes de sistemas unitários são tratados de forma integrada, porém, em períodos de chuvas intensas ou enchentes que acarretem em vazões superiores à capacidade da ETE, os esgotos são armazenados para posterior tratamento, ou são lançados diretamente no corpo receptor (BERNARDES, 2004).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Este capítulo está organizado em dois blocos. O primeiro se refere à descrição da estação de tratamento de esgotos de Rosário do Sul, incluindo um levantamento dos procedimentos analíticos utilizados para avaliação dos parâmetros qualitativos e quantitativos do sistema. Os dados utilizados foram obtidos no monitoramento da ETE realizado pela CORSAN.

O segundo bloco deste capítulo apresenta uma descrição de como foi avaliada a influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos nas lagoas facultativas que compõem a ETE da cidade de Rosário do Sul. Ou seja, é explicitado como se avaliou a influência da temperatura do ar sobre variação dos parâmetros de temperatura do esgoto, OD, pH, sulfetos, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, vazão, concentração de DBO<sub>5</sub> e carga orgânica, conforme os objetivos específicos do trabalho.

### **4.1 Descrição da estação de tratamento de esgotos de Rosário do Sul – RS**

#### **4.1.1 Apresentação geral da ETE**

O sistema de tratamento que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho é a estação de tratamento de esgotos da cidade de Rosário do Sul – RS, que é operada pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN.

Esta estação é composta por duas lagoas do tipo facultativas, uma primária e outra secundária, que operam em série, 24 horas por dia.

Este sistema está localizado na rua João Pacheco Prates, na vila Ana Luiza, a leste do município. Ele está ligado a uma rede coletora do tipo unitária com extensão de 15992m e atende uma população de 4984 pessoas (1424 economias).

Nos dias de chuva, parte do esgoto é desviado por um “by pass”, indo diretamente ao Rio Santa Maria, que é o corpo receptor do sistema.

As unidades componentes da ETE são as seguintes:

- um gradeamento para a remoção de sólidos grosseiros com operação manual;

- uma caixa de areia também com operação manual;
- uma calha Parshall com capacidade máxima de medição de 30l/s;
- uma lagoa facultativa primária com profundidade de 1,25m (45cm inferiores de lodo e 80cm superiores de lâmina líquida), área de 3844,00m<sup>2</sup> (62m x 62m), volume de 4805,00m<sup>3</sup>, e borda livre de 1,5m;
- uma lagoa facultativa secundária com profundidade de 0,80m (30cm inferiores de lodo e 50cm superiores de lâmina líquida), área de 8100,00m<sup>2</sup> (90m x 90m), volume de 6480,00m<sup>3</sup>, e borda livre de 1,5m;
- um laboratório de análises físico-químicas, de um pavimento, com área construída de 20m<sup>2</sup>.

A disposição das unidades pode ser vista na figura 3.

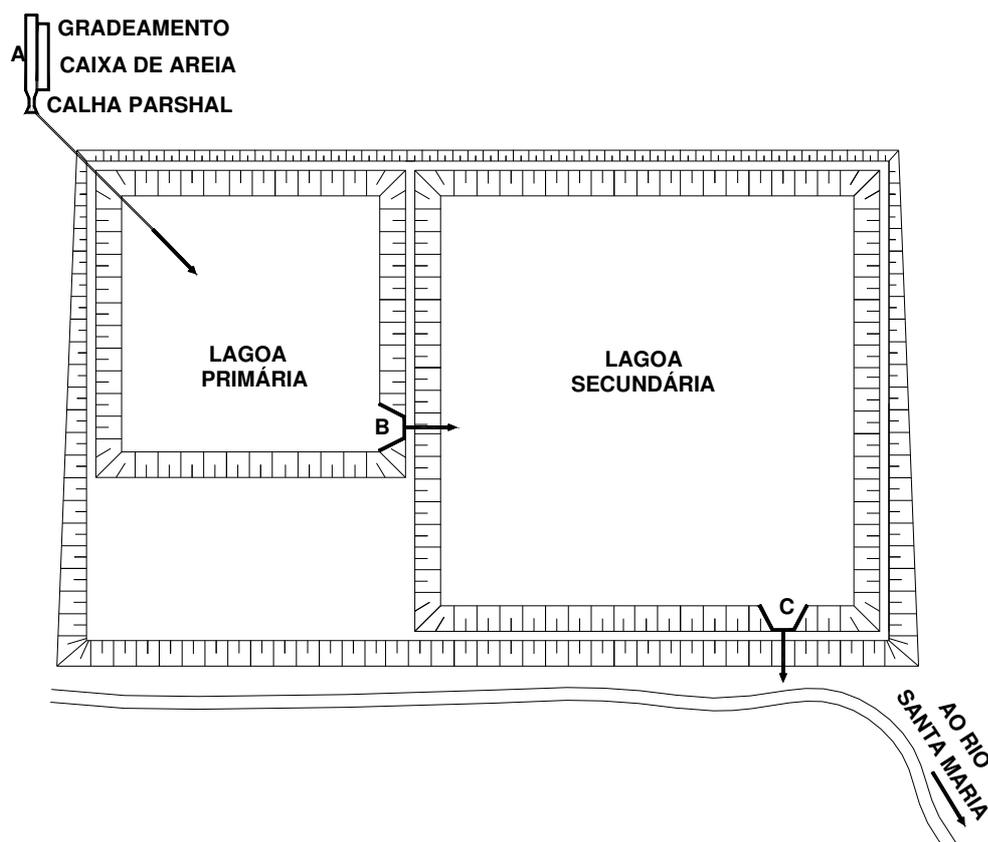


Figura 3 - Disposição das lagoas



Figura 4 - Gradeamento, caixa de areia, e calha Parshal



Figura 5 - Lagoa primária



Figura 6 - Lagoa secundária

#### 4.1.2 Parâmetros monitorados no laboratório da ETE

Os parâmetros monitorados pela CORSAN foram os seguintes:

- vazão (l/s);
- temperatura do Ar (°C);
- temperatura do esgoto (°C) nos pontos A (esgoto bruto), B (efluente da lagoa primária) e C (efluente da lagoa secundária);
- pH nos pontos A, B e C;
- sólidos sedimentáveis (ml/l) nos pontos A, B e C;
- sólidos suspensos (mg/l) nos pontos A, B e C;
- sulfetos (mg H<sub>2</sub>S/l) nos pontos A, B e C;
- OD (mgO<sub>2</sub>/l) nos pontos A, B e C;
- DBO<sub>5,20</sub> (mgDBO<sub>5</sub>/l) nos pontos A, B e C.

Além destes parâmetros, também foi registrado, nos boletins de medição, o estado do tempo no dia das coletas.

#### 4.1.3 Pontos de amostragem

As amostragens foram realizadas nos seguintes pontos: na entrada do sistema (ponto A), no efluente da lagoa primária (ponto B) e no efluente da lagoa secundária (ponto C).

#### 4.1.4 Freqüência de amostragens

A CORSAN montou o laboratório de análises físico-químicas no ano de 1980 e iniciou o monitoramento dos parâmetros no dia 04/08/1980. O monitoramento do sistema se estendeu por aproximadamente 23 anos até o dia 21/02/2003.

As coletas e análises eram feitas durante o dia, entre o horário das 6 horas da manhã, até as 6 horas da tarde.

A medição de vazão e a análise dos parâmetros de temperatura, pH, SSed, SSusp, sulfetos e OD eram realizados diariamente de segunda a sábado.

As coletas iniciavam segunda-feira nas primeiras horas da manhã ou nas primeiras horas da tarde. O horário das coletas ia aumentando em uma hora a cada dia da semana até sexta-feira.

O operador da ETE procurava alternar semanalmente o turno de realização das coletas, uma semana começando na segunda-feira pela manhã, e na outra começando segunda-feira pela tarde. Sábado a análise era sempre realizada pela manhã.

O parâmetro de DBO foi medido uma vez por semana. Normalmente a coleta deste parâmetro era feita na quarta-feira.

#### 4.1.5 Procedimentos analíticos

Os procedimentos utilizados para realizar as análises foram feitos conforme as normas estabelecidas pelo Conselho Regional de Química da 5ª Região (1974). Os procedimentos são descritos a seguir:

#### 4.1.5.1 Temperatura

Material utilizado:

- Termômetro de mercúrio de escala compreendida entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e mais de  $60^{\circ}\text{C}$  graduado ao  $1/10^{\circ}\text{C}$ .

Técnica de execução:

- A temperatura do ar era medida junto às proximidades imediatas do local de coleta de amostras, evitando a incidência dos raios solares sobre o termômetro.
- A temperatura do líquido era determinada mergulhando a extremidade inferior do termômetro (bulbo) no ponto de coleta de amostras correspondente, até estabilizar a temperatura (1 a 2 minutos).

#### 4.1.5.2 pH

Material utilizado:

- Comparador Hellige com discos colorimétricos;
- Cubetas (células);
- Pipetas graduadas de 1,0 e 10,0ml.

Reagentes:

- reativo B2 = vermelho de clorofenol;
- reativo B3 = vermelho de fenol;
- reativo B4 = cresol-ftaleína.

Técnica de execução:

Era medido 5,0ml da amostra em uma célula (cubeta) de vidro, adicionado 0,5ml de um dos reagentes, e homogeneizada a mistura.

Uma outra cubeta era preenchida com 5,0ml de amostra. As duas cubetas eram colocadas no comparador. Era então realizada a comparação da cor, fazendo-se girar o disco pelo simples toque dos dedos, trazendo um vidro corado *standard* após ao outro ao campo de observação. Quando uma cor idêntica era obtida com um vidro *standard* o pH era lido diretamente no número visível na abertura circular a direita.

Se a cor da solução em exame fosse intermediária entre dois valores, o pH adotado era a média dos mesmos.

#### 4.1.5.3 Sólidos sedimentáveis

Material utilizado:

- 3 cones de Imhoff de 1000ml;
- 1 bastão de vidro.

Técnica de execução:

Os cones Imhoff eram enchidos até a marca de 1000ml com as amostras e colocados em uma estante. Deixava-se sedimentar (decantar) durante 45 minutos. Em seguida com um bastão de vidro mexia-se vagarosamente a amostra, roçando as paredes do cone, a fim de fazer sedimentar as partículas aderidas às paredes do cone, mas sem revolver o sedimento do fundo. Depois de mais 15 minutos em repouso, era feita a leitura diretamente na escala do cone.

#### 4.1.5.4 Sólidos suspensos

Material utilizado:

- 3 provetas de 100ml;
- 3 funís haste longa;
- 3 copos Becker de 400ml;
- 3 pesa-filtros com tampa esmerilhada,
- papéis-filtro.

Técnica de execução:

Os papéis filtro eram dobrados, colocados nos pesa-filtros e levados a estufa a 110°C para a evaporação da umidade. Após 2 horas de secagem, os pesa filtros eram retirados da estufa e resfriados por 15 minutos em dessecador. Os pesa-filtros eram então pesados (1ª pesagem).

Os papéis filtro eram então montados em funis. Em cada funil eram filtrados 100ml de amostras, agitando previamente a amostra, por inversão, para homogeneização da mesma.

Depois de filtrados e secos um pouco ao ar, os papéis eram colocados nos pesa-filtros correspondentes e eram colocados novamente na estufa por mais 2 horas. Os pesa filtros eram então retirados da estufa e resfriados por mais 15 minutos. Após este resfriamento os pesa filtros eram pesados novamente (2ª pesagem).

Procedia-se então ao seguinte cálculo:

$$\frac{(2^{\text{a}} \text{ pesagem} - 1^{\text{a}} \text{ pesagem})}{100\text{ml}} \times 1000000 = \text{mg / ISS} \quad (4.1)$$

#### 4.1.5.5 Sulfetos

Material utilizado:

- pipetas graduadas ;
- Balões Erlenmeyer de 500ml aferidos na marca de 213ml;
- Bureta 50ml.

Reagentes:

- reativo S = solução de tiosulfato de sódio 0,025N (N/40);
- reativo I3 = solução de iodo 0,025N(N/40);
- reativo T = solução de amido a 1%.

Técnica de execução:

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica de 100ml e pêra de borracha, eram pipetados para um balão Erleynmeyer de 500ml, 213ml da amostra em exame.

A seguir eram adicionados 10ml do reativo "I3" e agitado lentamente o balão para homogeneizar a mistura.

Com uma bureta graduada era adicionado o reativo "S". Era feito um gotejamento cuidadoso deste reativo até chegar-se a uma cor amarela pálida.

Era, então, juntado o reativo "T" ao "S" e continuava-se o gotejamento até aparecer a cor azul e depois até o desaparecimento desta cor.

Para achar o resultado, subtraía-se o volume gasto do reativo "S" do volume total do reativo "I3", e multiplicava-se a diferença por dois. O resultado era expresso em mgH<sub>2</sub>S/l.

#### 4.1.5.6 Oxigênio dissolvido

Material utilizado:

- pipetas graduadas de 2,0 e 10,0ml
- Frascos claros com tampa esmerilhada e biselada com capacidade de 250ml;
- Erleymeyer de 250ml;
- Proveta de 100ml;
- Bureta de 50ml;
- Pêra de borracha para sucção.

Reagentes:

- reativo "R" = ácido clorídrico ou sulfídrico;
- reativo S = solução de tiosulfato de Sódio 0,025N (N/40);
- reativo T = solução de amido a 1%;
- reativo I11 = solução alcalina de Iodeto de Potássio e Azida de Sódio;
- reativo "O" = solução de Cloreto Manganoso a 20%.

Técnica de execução:

As amostras eram coletadas nos frascos de 250ml. Este frasco era enchido até transbordar e, então, era colocada a tampa evitando a formação de bolhas de ar. O frasco, então, era destampado e era adicionado 2ml do reativo "I11" e 2ml do reativo "O".

Colocava-se a tampa e o frasco era agitado algumas vezes, invertendo o frasco sucessivamente, a fim de homogeneizar a mistura. A solução ficava descansando por 5 minutos para sedimentar o precipitado.

O frasco era novamente destampado e adicionado 5ml de reativo "R". Era, então, colocada a tampa e invertido o frasco 3 vezes para dissolver o precipitado.

Com uma proveta, eram passados 100ml de amostra para um Erleymeyer de 250ml.

Com uma bureta de 50ml eram adicionados gota à gota do reativo "S" sempre agitando o balão até aparecer a cor amarelo. Em seguida, era adicionado 1ml do reativo "T" no qual a solução adquiria uma cor azul. Seguia-se titulando com o reativo "S" até desaparecer a cor azul.

Para achar o resultado, multiplicava-se o volume gasto do reativo “S” por dois.

O resultado era expresso em  $\text{mgO}_2/\text{l}$ .

#### 4.1.5.7 Demanda bioquímica de oxigênio

Material utilizado:

- pipetas simples graduadas de 0,2 a 10ml;
- pipeta volumétrica de 20 ou 50ml;
- frascos claros próprios para oxigênio;
- frascos escuros de 1000ml;
- pêra de borracha para sucção;
- água de diluição para DBO.

Técnica de execução:

As amostras eram colhidas nos frascos de 1000ml, enchendo-os completamente, sem bolhas de ar.

Eram utilizados os frascos claros próprios para oxigênio dissolvido, com volume pré-determinado para a diluição das amostras.

A diluição era feita com água de diluição para DBO.

A porcentagem de diluição variava de acordo com as características da amostra na diluição.

Normalmente, era feita a diluição de 2% para o ponto “A”, 6% para o ponto “B”, e 10% para o ponto “C”.

Como o volume do frasco normalmente era de 250ml, para o ponto A tinha-se 5ml de amostra, para o B, 15ml de amostra e para o ponto C, 25ml de amostra.

Eram preenchidos 3 frascos para OD, previamente aferidos e rotulados com as amostras a serem inoculados e um somente com a água de diluição. Este somente com a água de diluição era chamado de prova em branco (PB).

Estes frascos eram tampados, selados com água, e levados para a incubadora durante 5 dias. Depois dos 5 dias era feita a análise de OD destes 4 frascos.

Procedia-se então ao seguinte cálculo:

$$B.O.D = \frac{ODPB - OD}{\%diluição} \times 100 = mgO_2/l \quad (4.2)$$

Era realizado também o cálculo da Depleção. A depleção é o consumo de OD da prova em branco para os 5 dias.

Depleção = OD da PB da hora menos o OD da PB após 5 dias. Esta diferença nunca deveria ultrapassar os 0,2mg/l de O<sub>2</sub>. Se a diferença ultrapassasse os 0,2mg/l o cálculo da DBO era feito da seguinte maneira:

$$BOD = \frac{ODPBna\ hora - ODPB5\ dias - ODamostra}{\%diluição} \times 100 = mgO_2/l \quad (4.3)$$

Esta fórmula só era utilizada para o cálculo da DBO para as diluições menores que 5%.

## **4.2 Avaliação da influência da temperatura do ar sobre o processo de decomposição dos esgotos na ETE Rosário do Sul**

A avaliação da influência da temperatura do ar sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos na ETE Rosário do Sul, foi dividida conforme os objetivos específicos. Para cada objetivo específico do trabalho, procedeu-se a uma metodologia diferente.

Entretanto, como todos os objetivos específicos do trabalho são desenvolvidos sobre os boletins de monitoramento da CORSAN, inicialmente apresenta-se a forma como foi conduzida a consistência de dados coletados junto a CORSAN, e posteriormente são explicitadas as formas de como foram alcançados os objetivos específicos.

### **4.2.1 Análise de consistência dos dados**

A partir do levantamento dos dados monitorados pela CORSAN foi realizada uma análise de consistência, seguindo os seguintes passos:

- Tabulação dos boletins de monitoramento e transferência dos dados monitorados para uma planilha eletrônica elaborada no programa Excel;

- Identificação e caracterização dos erros encontrados nos boletins de monitoramento;
- Eliminação dos erros encontrados.

#### 4.2.2 Correlações entre a temperatura do esgoto e a temperatura do ar

Muitas das fórmulas de dimensionamento de lagoas de estabilização (item 3.21) levam em consideração a temperatura do esgoto. Entretanto, ao se dimensionar um sistema de lagoas de estabilização, muitas vezes o projetista só dispõe da temperatura média do ar do local onde as lagoas devem ser implantadas. Assim, para que o projetista possa prosseguir ao seu dimensionamento, ele estima a temperatura do esgoto a partir da temperatura do ar, através de equações que correlacionam essas duas temperaturas (item 3.23).

Entretanto nenhuma das fórmulas foi desenvolvida para o estado do Rio Grande do Sul, e sim em outras partes do mundo.

Como se dispõe de um número elevado de dados de temperatura do ar e temperatura do esgoto para os três pontos do sistema de lagoas de Rosário do Sul, foram estabelecidas para estes três pontos correlações entre a temperatura do ar e a do esgoto, surgindo as primeiras correlações estabelecidas para a região do estado do Rio Grande do Sul.

Para obtenção das correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto, todos os dados de temperatura do ar e do esgoto foram plotados em gráficos de dispersão X,Y. Foram confeccionados três gráficos, onde a temperatura do ar foi plotada no eixo X e a temperatura do esgoto no eixo Y. Foi, então, feita a regressão linear simples, através da ferramenta “linha de tendência” do programa Excel.

O programa retornou as equações lineares que representam a correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto para os três pontos do sistema. O programa também calculou o valor de  $R^2$ , que é o coeficiente de determinação ou de explicação, que avalia a qualidade de ajuste de um modelo (ETHUR 2001).

A interpretação do resultado do valor de  $R^2$ , é que, quanto mais próximo de 1 ele estiver, mais próximos estarão os pontos da reta traçada.

#### 4.2.3 Comportamento dos parâmetros OD, pH e sulfetos em função da temperatura do ar e evolução destes parâmetros entre os pontos do sistema

Os parâmetros de OD e pH podem ser considerados os principais indicadores do funcionamento do sistema de lagoas facultativas. As lagoas facultativas normalmente apresentam grande número de algas, que realizam a fotossíntese, introduzem OD no meio líquido, consomem  $\text{CO}_2$  e, por consequência, elevam o pH do meio líquido. Com o aumento da temperatura do ar, ocorre um aumento da produção de OD e um aumento do consumo de  $\text{CO}_2$  implicando num aumento de pH.

Os sulfetos indicam a existência de decomposição anaeróbia e estão diretamente relacionados a presença de odores desagradáveis em um sistema de lagoas. A produção de sulfetos, subproduto da decomposição anaeróbia no fundo das lagoas, tende a aumentar com o aumento da temperatura do ar.

Como existem nos boletins da CORSAN um grande número de análises de OD, pH, sulfetos e temperatura do ar pretende-se confirmar ou não a teoria anteriormente citada com a análise dos parâmetros monitorados em Rosário do Sul. Assim pretende-se enriquecer a literatura com os dados coletados em de Rosário do Sul que constituem uma longa série de dados, sendo que este sistema é um dos mais antigos implantados no estado do Rio Grande do Sul.

Para se analisar o comportamento dos parâmetros de OD, pH e sulfetos, estes dados foram colocados em gráficos de dispersão X,Y. No eixo Y foram colocados os valores de OD, pH e sulfetos, e no eixo X foram colocados os valores da temperatura do ar. Nos gráficos ainda foram colocados o valor máximo, médio e mínimo de cada variável. Assim, a medida de tendência central utilizada foi a média aritmética dos valores para as diferentes temperaturas, e a medida de dispersão será a amplitude de variação, que é a diferença entre o maior valor e o menor valor do conjunto.

Estes gráficos permitiram que se pudesse visualizar e analisar o comportamento dos parâmetros frente à variação da temperatura do ar.

A análise destes parâmetros forneceu também a sustentação necessária ao equacionamento do último objetivo específico deste trabalho, pois para que se possa

propor uma nova equação  $L_s = f(T)$  é necessário certificar-se que as lagoas de Rosário do Sul funcionam realmente como lagoas facultativas.

#### 4.2.4 Remoção de sólidos suspensos e de sólidos sedimentáveis ao longo do sistema

A eficiência de um sistema de lagoas também está relacionada à capacidade deste sistema remover os sólidos presentes nos esgotos. Como a temperatura tende a acelerar o processo de decomposição de esgotos, ela pode interferir no processo de remoção de sólidos sedimentáveis e suspensos.

Como em Rosário do Sul foram monitorados estes parâmetros, foi verificado se ocorreu ou não o aumento da remoção de sólidos sedimentáveis e suspensos ao longo do sistema de lagoas em função do aumento da temperatura.

Para isso, foram construídos gráficos de dispersão X,Y, onde os valores médios de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos foram colocados no eixo Y e a temperatura no eixo X.

Foram construídos também gráficos de dispersão X,Y onde a remoção percentual de sólidos sedimentáveis e de sólidos suspensos foram colocados no eixo Y e a temperatura no eixo X.

Assim, foi possível verificar se ocorreu aumento da eficiência da remoção de sólidos em função do aumento da temperatura do ar.

#### 4.2.5 Variação da vazão em função da temperatura do ar e das horas do dia

Normalmente, nas redes de abastecimento de água, observa-se que com o aumento da temperatura ocorre um aumento no consumo de água, e conseqüentemente, ocorre um aumento da produção de esgotos.

Neste estudo, foi necessário compor as cargas orgânicas afluentes a ETE Rosário do Sul. Foram compostas cargas orgânicas para diferentes temperaturas. Como a carga orgânica é o produto entre a vazão e a concentração de matéria orgânica, foi importante determinar como se comportou a vazão com a variação da temperatura.

Neste estudo, foi avaliada a influência da temperatura sobre o consumo de água, mais especificamente foi feita a análise da variação da vazão afluente à ETE em função da variação da temperatura.

Para isso foram construídos gráficos de dispersão X,Y, onde a vazão foi colocada no eixo Y e a temperatura no eixo X.

Como a rede coletora de esgotos da ETE é do tipo unitária, sofrendo alteração de vazão em função das chuvas, foram executados quatro gráficos:

- um para qualquer situação do tempo;
- um somente quando o tempo estava bom;
- um para tempo instável;
- um para tempo chuvoso.

Assim, foi possível avaliar adequadamente a variação da vazão em função da temperatura para diferentes estados do tempo.

Além disso, a vazão afluente a ETE foi monitorada somente durante as horas do dia; entretanto, durante a noite, a vazão se comporta de forma diferente. A contribuição noturna de esgotos normalmente é menor do que a contribuição diurna.

Para não superestimar a vazão afluente a ETE Rosário do Sul, foi realizado o estudo da variação horária da vazão e foi atribuído um valor fictício de vazão para os horários onde não houve medição de vazão (turno da noite). Assim, foi estimada uma vazão média considerando a redução do consumo durante as horas da noite.

Esta vazão média foi avaliada e utilizada para compor as cargas orgânicas afluentes a ETE.

#### 4.2.6 Concentrações de matéria orgânica e variação da eficiência de remoção de DBO em função da temperatura do ar.

A temperatura influencia todas as reações químicas, físicas e biológicas do processo de tratamento de esgotos. Sendo assim, ela acaba controlando a degradação de matéria orgânica. Para temperaturas mais elevadas, espera-se que ocorra um aumento das taxas de degradação.

Pretende-se neste trabalho avaliar a variação da eficiência de remoção de matéria orgânica com a variação da temperatura.

Para isso foi feita a média das concentrações de matéria orgânica, para os três pontos do sistema, para os seguintes intervalos de temperatura:

- intervalos de 1°C;
- intervalos de 5°C;
- intervalos de 10°C;
- intervalos de 20°C.

Foi importante realizar a média para diferentes intervalos de temperatura, pois a medida que aumentam os intervalos de temperatura, aumentam o número de coletas para cada intervalo.

Com a média das concentrações de matéria orgânica, foram calculadas as eficiências médias de remoção de matéria orgânica de A/B; de B/C e de A/C.

Procurou-se observar um aumento de eficiência de remoção de matéria orgânica com o aumento da temperatura.

#### 4.2.7 Equações $L_s = f(T)$

As equações  $L_s=f(T)$  são muito utilizadas para o dimensionamento de lagoas facultativas. Estas equações relacionam a máxima carga orgânica por unidade de área que pode ser aplicada a um sistema de lagoas facultativas em função da temperatura do ar. Existem muitas equações  $L_s = f(T)$ , entretanto, nenhuma foi desenvolvida em um sistema implantado no Rio Grande do Sul. Ou seja, nenhuma equação foi desenvolvida para o clima subtropical do Rio Grande do Sul.

Neste trabalho pretende-se desenvolver equações  $L_s = f(T)$  através dos dados monitorados em Rosário do Sul.

Foram desenvolvidas 3 equações  $L_s = f(T)$ : uma para a lagoa primária; uma para a lagoa secundária; e uma para o sistema de lagoas.

Com a vazão média afluente a ETE, e com as médias das concentrações afluentes para diferentes temperaturas, foram calculadas as cargas afluentes à ETE para diferentes temperaturas.

Uma vez compostas as cargas orgânicas, foram calculadas as taxas de aplicação superficial em cada lagoa.

A taxa de aplicação superficial na primeira lagoa foi calculada dividindo-se a carga orgânica afluente pela área da lagoa primária (0,3844ha).

A taxa de aplicação superficial na lagoa secundária foi calculada dividindo-se a carga orgânica efluente da lagoa primária pela área da lagoa secundária (0,81ha).

A taxa de aplicação superficial no sistema foi calculada dividindo-se a carga afluente ao sistema pela área total das duas lagoas (1,1944ha).

Foram confeccionados gráficos de dispersão X,Y onde as taxas de aplicação superficial médias foram colocadas no eixo Y e a temperatura no eixo X.

Foram traçadas retas, de modo que parte dos pontos do gráfico ficassem abaixo destas retas.

Foram, então, obtidas as equações destas retas.

Estas equações são as equações que relacionam a máxima taxa de aplicação superficial com a temperatura do ar. Elas são de grande utilidade, pois serão as primeiras desenvolvidas no estado do Rio Grande do Sul e, sendo assim, serão muito úteis no dimensionamento de lagoas facultativas a serem implantadas no estado.

A equação  $L_s=f(T)$  obtida para a lagoa primária foi comparada com as demais equações observadas na literatura. Mais especificamente, as áreas geradas pela equação desenvolvida neste trabalho foram comparadas com as áreas geradas pelas demais equações.

Para isso foi montada uma tabela, na qual na primeira coluna foi colocada a temperatura do ar, e nas demais colunas, as taxas de aplicação superficial geradas pelas equações existentes e pela equação desenvolvida neste trabalho.

Posteriormente, ainda para efeito de comparação, foi calculada pelas diversas fórmulas, a área de uma lagoa facultativa para atender a uma população de 4984 pessoas com uma contribuição individual de 54gDBO<sub>5</sub>/pessoa.dia.

Novamente foi construída uma tabela onde a temperatura foi colocada na primeira coluna e as áreas nas demais colunas.

Por fim, foi construída uma tabela comparando percentualmente as áreas geradas pelas equações da literatura, com as áreas geradas pela equação proposta.

Assim foi possível avaliar se é vantajoso ou não utilizar a equação proposta neste trabalho para o dimensionamento de lagoas facultativas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Consistência dos dados

Realizou-se uma pesquisa no laboratório da ETE Rosário do Sul e levantou-se a totalidade das informações disponíveis. Os dados de monitoramento da ETE foram encontrados na forma de boletins preenchidos a mão. O conjunto de dados foi digitado em planilha eletrônica no programa Excel com as seguintes informações: dia das análises; hora da coleta; estado do tempo; vazão; temperatura do ar; temperatura do esgoto; pH; sólidos sedimentáveis; sólidos suspensos; sulfetos; OD e DBO<sub>5</sub> para os três pontos.

A planilha elaborada, com um mês de dados, para exemplificar, pode ser visualizada na Tabela 5.1.

A consistência dos dados foi realizada no momento da digitação e os erros de preenchimento foram:

- valores extremamente altos ou baixos, fora da faixa normalmente encontrada para os diversos parâmetros;
- erros de cálculo de porcentagem;
- erros de cálculo de DBO<sub>5</sub>;
- erros de ordem cronológica.

Esses erros foram eliminados da série de dados.



Continuação da tabela 5.1

Dia	SSed pto A (ml/l)	SSed pto B (ml/l)	SSed pto C (ml/l)	SSusp pto A (mg/l)	SSusp pto B (mg/l)	SSusp pto C (mg/l)
03/09/1990	1,8	0,2	0,0	80	40	10
04/09/1990	4,5	0,3	0,0	100	60	50
05/09/1990	1,4	0,2	0,0	60	40	30
06/09/1990						
07/09/1990						
08/09/1990						
09/09/1990						
10/09/1990	3,0	0,3	0,0	140	60	10
11/09/1990	2,0	0,2	0,0	120	50	30
12/09/1990	1,9	0,2	0,0	60	30	20
13/09/1990	2,5	0,4	0,1	100	40	30
14/09/1990	2,0	0,2	0,0	70	40	20
15/09/1990						
16/09/1990						
17/09/1990	3,5	0,3	0,0	50	20	10
18/09/1990						
19/09/1990	1,9	0,2	0,0	100	60	10
20/09/1990						
21/09/1990	0,9	0,1	0,0	70	30	20
22/09/1990						
23/09/1990						
24/09/1990	2,32	0,2	0,0	80	20	20
25/09/1990	2,0	0,2	0,0	100	60	30
26/09/1990	2,2	0,3	0,0	80	30	20
27/09/1990	1,5	0,1	0,0	90	40	30
28/09/1990	1,7	0,2	0,0	100	50	40
29/09/1990						
30/09/1990						

Continuação da tabela 5.1

Dia	Sulfetos pto A (mgH <sub>2</sub> S/l)	Sulfetos pto B (mgH <sub>2</sub> S/l)	Sulfetos pto C (mgH <sub>2</sub> S/l)	OD pto A (mgO <sub>2</sub> /l)	OD pto B (mgO <sub>2</sub> /l)	OD pto C (mgO <sub>2</sub> /l)
03/09/1990	0,4	0,6	4,4	0,4	0,8	12,4
04/09/1990	2,0	1,0	4,0	0,0	0,6	8,4
05/09/1990	3,0	1,6	3,2	0,0	1,0	6,2
06/09/1990						
07/09/1990						
08/09/1990						
09/09/1990						
10/09/1990	3,8	3,0	7,6	0,0	8,2	20,6
11/09/1990	3,6	2,0	5,6	0,0	8,0	12,0
12/09/1990	4,0	2,6	6,2	0,0	7,6	17,2
13/09/1990	2,8	2,4	10,0	0,0	7,8	20,4
14/09/1990	0,4	0,8	3,4	0,4	7,2	12,6
15/09/1990						
16/09/1990						
17/09/1990	2,8	1,0	5,0	0,0	1,6	10,0
18/09/1990						
19/09/1990	2,4	1,8	2,8	0,0	9,4	11,2
20/09/1990						
21/09/1990	0,4	0,8	1,8	1,4	4,8	7,6
22/09/1990						
23/09/1990						
24/09/1990	2,4	7,4	7,0	0,0	30,8	18,4
25/09/1990	4,0	6,8	8,4	0,0	20,2	22,4
26/09/1990	5,8	6,6	9,6	0,0	19,2	22,0
27/09/1990	0,6	1,8	6,6	3,8	3,0	8,4
28/09/1990	1,0	2,0	6,2	0,4	1,6	7,0
29/09/1990						
30/09/1990						

Continuação da tabela 5.1

Dia	DBO pto A (mgDBO <sub>5</sub> /l)	DBO pto B (mgDBO <sub>5</sub> /l)	DBO pto C (mgDBO <sub>5</sub> /l)
03/09/1990			
04/09/1990			
05/09/1990			
06/09/1990			
07/09/1990			
08/09/1990			
09/09/1990			
10/09/1990	280	87	47
11/09/1990			
12/09/1990			
13/09/1990			
14/09/1990			
15/09/1990			
16/09/1990			
17/09/1990			
18/09/1990			
19/09/1990	270	73	36
20/09/1990			
21/09/1990			
22/09/1990			
23/09/1990			
24/09/1990			
25/09/1990			
26/09/1990			
27/09/1990	110	76	52
28/09/1990			
29/09/1990			
30/09/1990			

## 5.2 Correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto

As correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto podem ser visualizadas nas Figuras 7 a 9. Em cada figura a temperatura do ar aparece no eixo X e a temperatura do esgoto no eixo Y. Nas figuras é possível ver a linha de tendência traçada pelo programa Excel, bem como a equação que representa esta linha.

Estas equações representam as correlações entre a temperatura do ar e do esgoto.

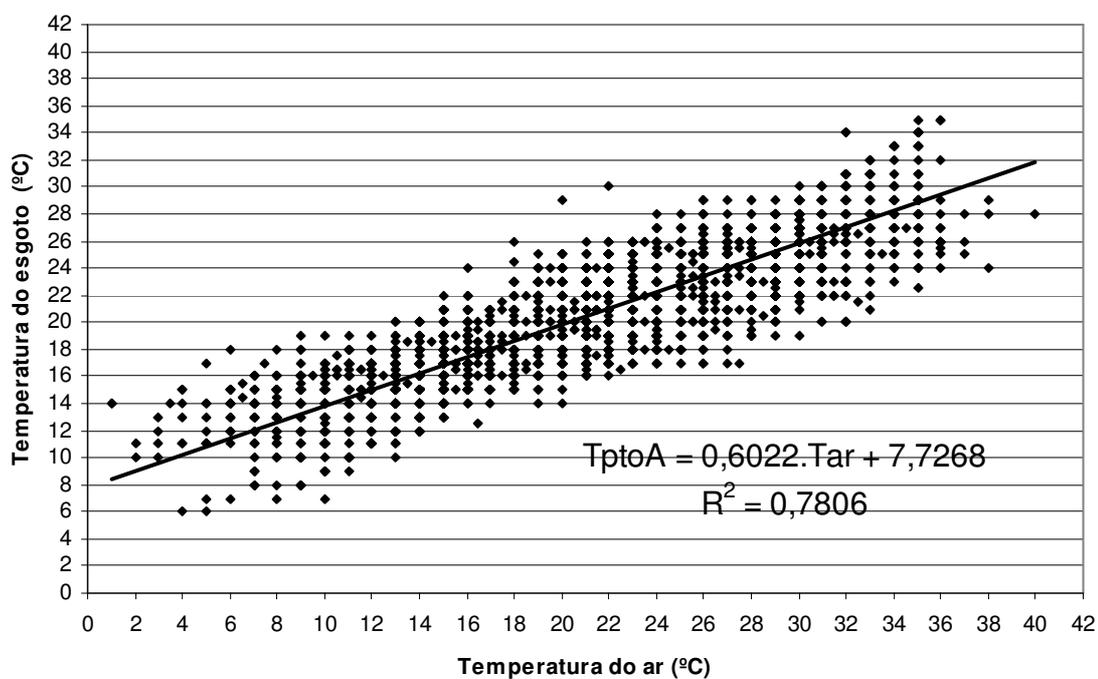


Figura 7 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto A

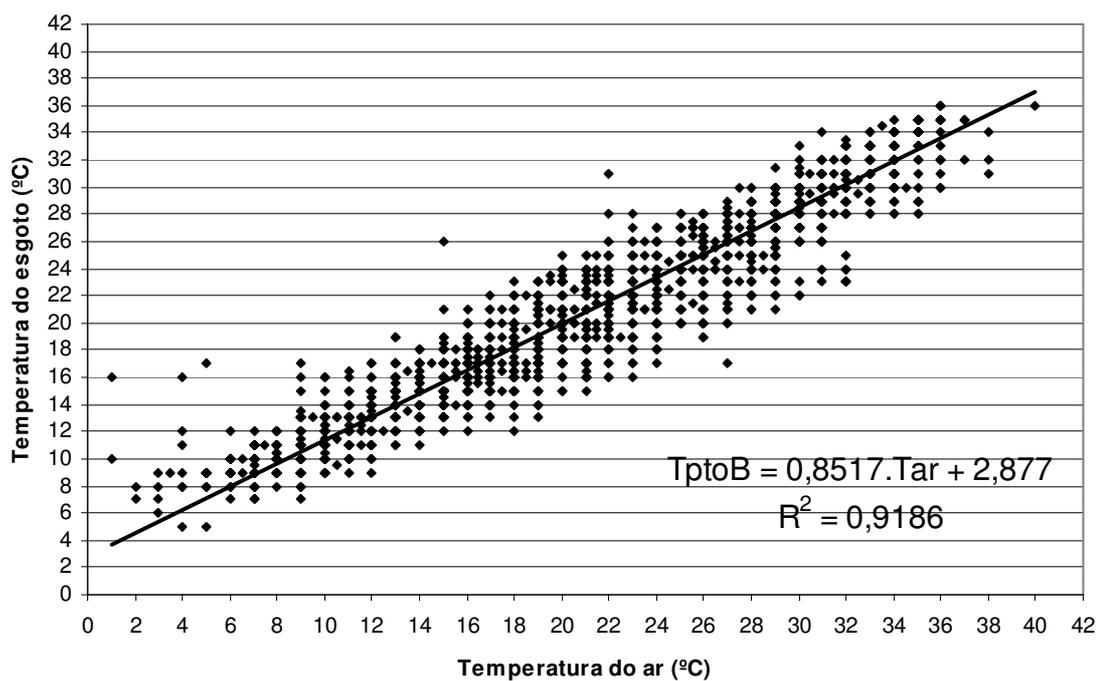


Figura 8 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto B

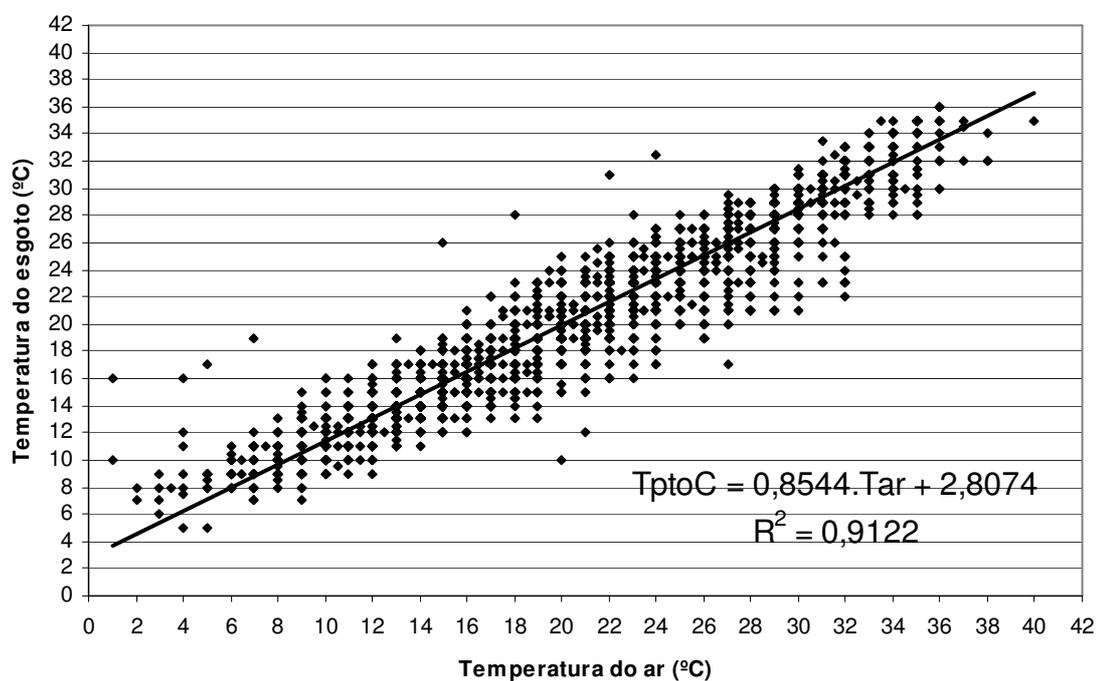


Figura 9 – Correlação entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto no ponto C

O número de coletas de temperatura, que foram realizadas para a elaboração dos gráficos anteriores, pode ser encontrado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Número de coletas da temperatura do ar, ponto A, B e C

	Número de coletas
Temperatura do ar	4736
Temperatura do ponto A	4691
Temperatura do ponto B	4732
Temperatura do ponto C	4729

As correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto, obtidas para os três pontos do sistema, são as seguintes:

$$\text{Tpto A} = 0,6022 \cdot \text{Tar} + 7,7268 \quad R^2 = 0,7806 \quad (5.1)$$

$$\text{Tpto B} = 0,8517 \cdot \text{Tar} + 2,877 \quad R^2 = 0,9186 \quad (5.2)$$

$$\text{Tpto C} = 0,8544 \cdot \text{Tar} + 2,8074 \quad R^2 = 0,9122 \quad (5.3)$$

Observando-se essas três últimas equações, pode-se notar que, à medida que o esgoto fica exposto ao clima, sua temperatura tende a se igualar à temperatura do ar.

A equação 5.1 representa o esgoto recém chegado da rede coletora; a equação 5.2 representa o esgoto com 9,10 dias de exposição ao ar; e a equação 5.3, o esgoto com 21,37 dias de exposição ao ar.

Observando-se os coeficientes angulares das equações:

- reta 1: 0,6022;
- reta 2: 0,8517;
- reta 3: 0,8544.

Nota-se que este coeficiente está tendendo a 1, situação em que a temperatura do esgoto seria igual a temperatura do ar.

Observando-se ainda o coeficiente linear das equações:

- reta 1: 7,7268;
- reta 2: 2,877;
- reta 3: 2,8074.

Percebe-se que ele está tendendo a zero, situação em que a temperatura do esgoto seria igual a temperatura do ar.

É interessante observar que a temperatura do esgoto sempre tende a se igualar à temperatura do ar, mas a variação da temperatura do esgoto é diferente da variação da temperatura do ar. Isto ocorre porque o calor específico da água é superior ao calor específico do ar, isto significa que, comparada com o ar, a água requer um maior ganho de energia para aumentar sua temperatura. Em outras palavras, a variação da temperatura do líquido nas lagoas é menor do que no ar em virtude da inércia térmica da água ser maior do que a do ar.

Quanto à qualidade do ajuste das equações ao modelo linear, observando-se o coeficiente de determinação das equações:

- reta 1: 0,7806;
- reta 2: 0,9186;
- reta 3: 0,9122.

Nota-se que estes coeficientes estão próximos de 1,0. Isso significa que as retas apresentam um bom ajuste.

As equações 5.1, 5.2 e 5.3 são muito úteis quando se deseja utilizar umas das equações de dimensionamento de lagoas que leva em consideração a temperatura do esgoto e não se dispõe desta informação. Neste caso, estas equações podem ser utilizadas com segurança para estimar a temperatura do esgoto a partir da temperatura do ar.

Como estas equações foram desenvolvidas em Rosário do Sul, elas são ideais para serem utilizadas em regiões de clima semelhante ao dessa cidade. Mesmo que o clima de Rosário do Sul não seja idêntico ao clima das outras cidades do Rio grande do Sul, estas equações são as mais ideais para se utilizarem em todo o estado, pois foram as primeiras a serem estabelecidas em um sistema inserido no Rio Grande do Sul.

No entanto, é importante ressaltar que estas equações refletem a variação da temperatura na superfície do líquido na lagoa, e não no seu interior, pois as coletas das amostras de temperatura foram realizadas próximas a superfície da lagoa. No interior das lagoas, a temperatura é mais baixa do que na superfície.

Também é interessante salientar que foram estabelecidas equações, que demonstram a variação da temperatura do esgoto em função da variação da temperatura do ar para três diferentes tempos de exposição do esgoto. Sempre que se desejar utilizar estas equações, é importante que se tenha em mente esses tempos de exposição.

Por exemplo, quando se desejar projetar um sistema de lagoas facultativas, em que os tempos de detenção hidráulica recomendados de projeto estão na faixa de 15 a 45 dias, é aconselhado que se utilize a equação 5.3, pois esta foi determinada para um tempo de exposição médio de 21,37 dias.

Por outro lado, quando se desejar projetar uma lagoa anaeróbia, em que os tempos de detenção hidráulica recomendados de projeto estão na faixa de 3 a 6 dias, é recomendado utilizar a equação 5.2, pois esta foi estabelecida para 9,10 dias, e este tempo é o que mais se aproxima da faixa de projeto.

Ainda, se para fins de pesquisa, se deseje estimar a temperatura média dos esgotos dentro das canalizações, é interessante que se utilize a equação 5.1, pois esta foi estabelecida para o esgoto recém chegado na ETE, ou seja com o mínimo de exposição ao clima.

Vale ainda ressaltar que estas equações foram geradas desenvolvidas para 4736 medições de temperatura do ar, como pode ser observado na Tabela 5.2.

### **5.3 Comportamento dos parâmetros OD, pH e sulfetos em função da temperatura do ar e evolução destes parâmetros entre os pontos do sistema**

Nas Figuras 10 a 13 pode-se visualizar o comportamento do parâmetro de oxigênio dissolvido em função da temperatura do ar para os pontos A, B e C do sistema de lagoas.

O comportamento do pH em função da temperatura do ar para os três pontos pode ser visualizado nas Figuras 14 a 17, e o comportamento dos sulfetos em função da temperatura do ar também para os três pontos pode ser visualizado nas Figuras 18 a 21.

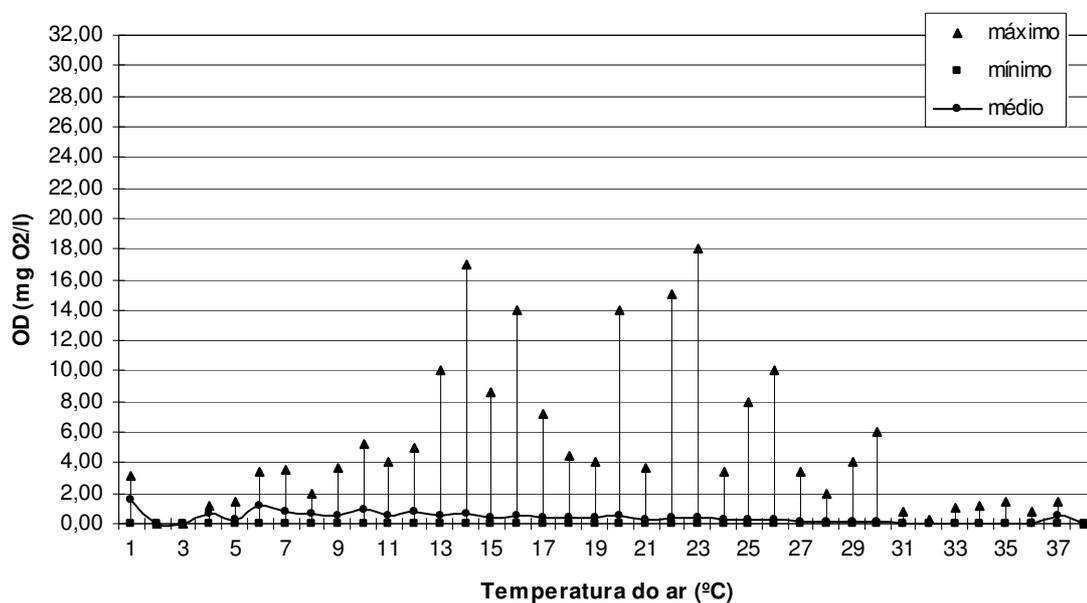


Figura 10 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto A em função da temperatura do ar

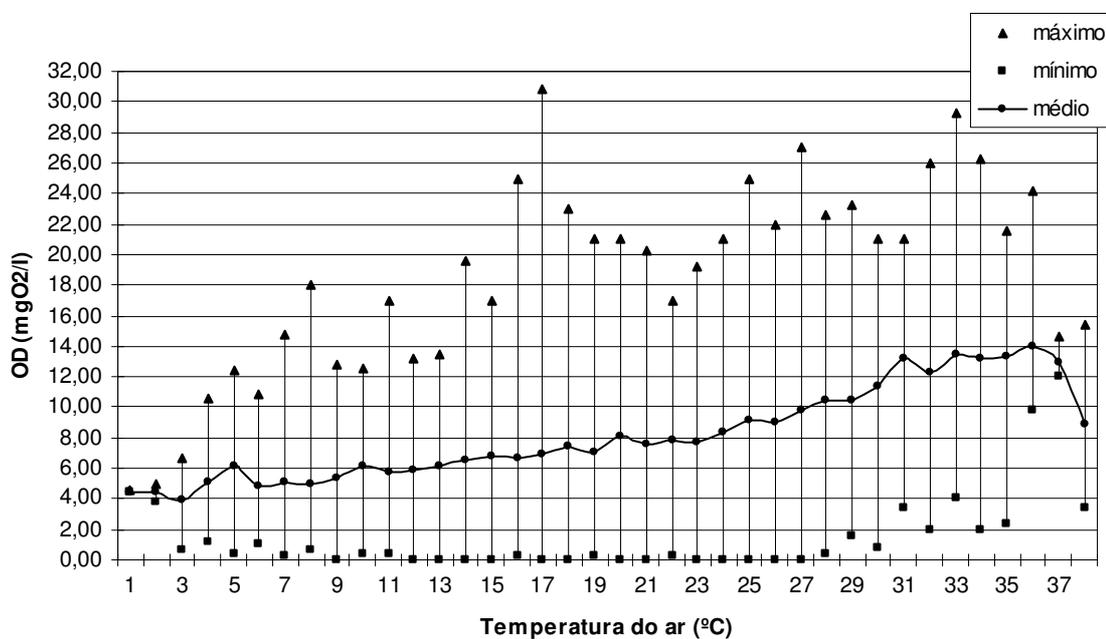


Figura 11 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto B em função da temperatura do ar

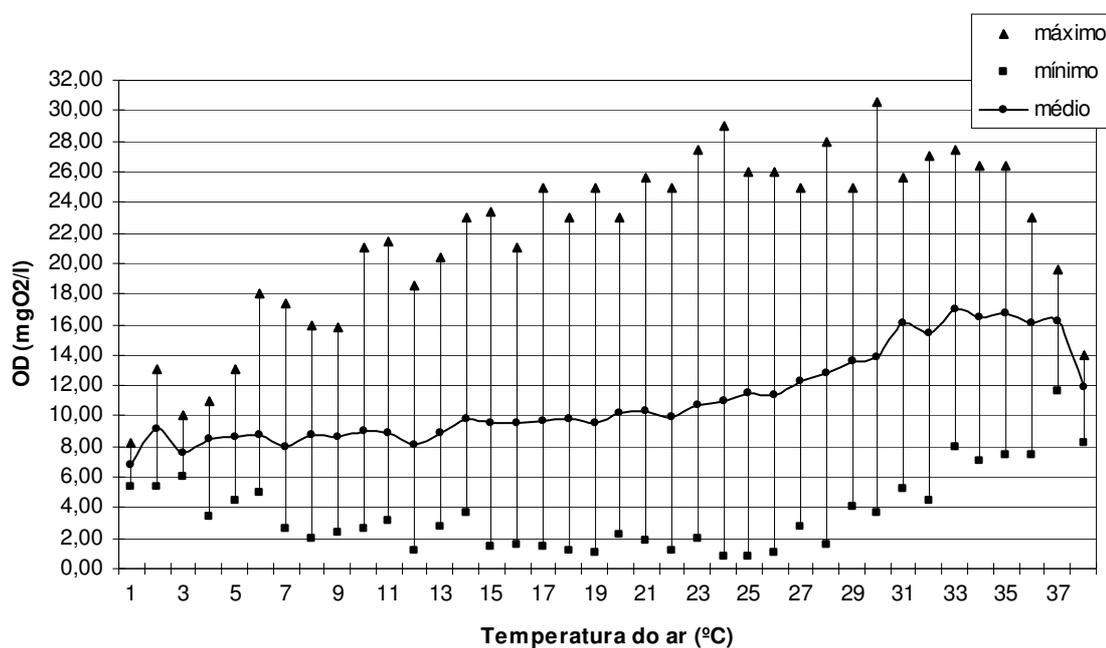


Figura 12 - Concentração de oxigênio dissolvido no ponto C em função da temperatura do ar

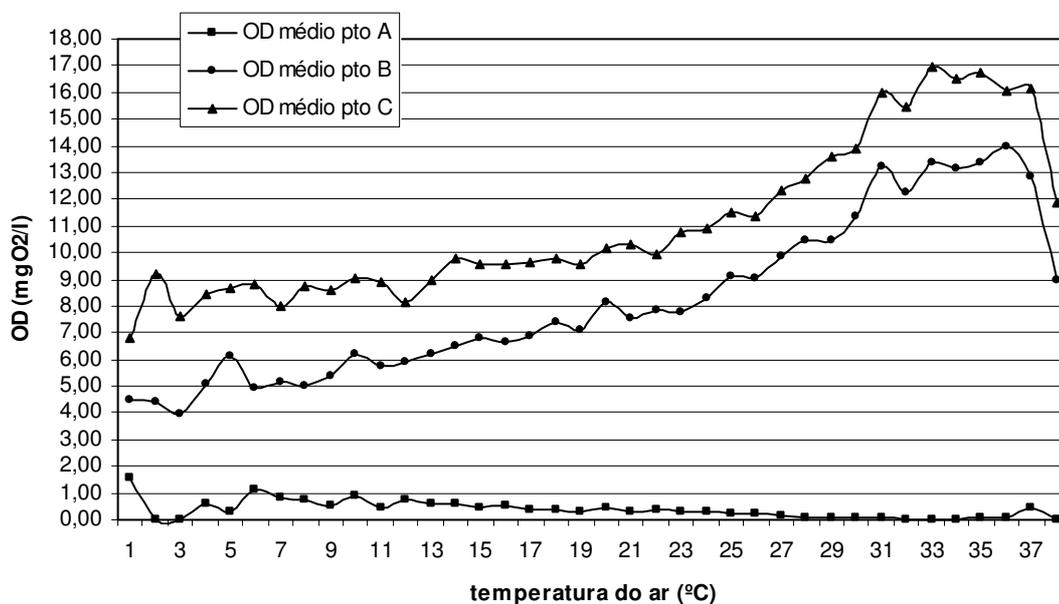


Figura 13 - Concentração de oxigênio dissolvido nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar

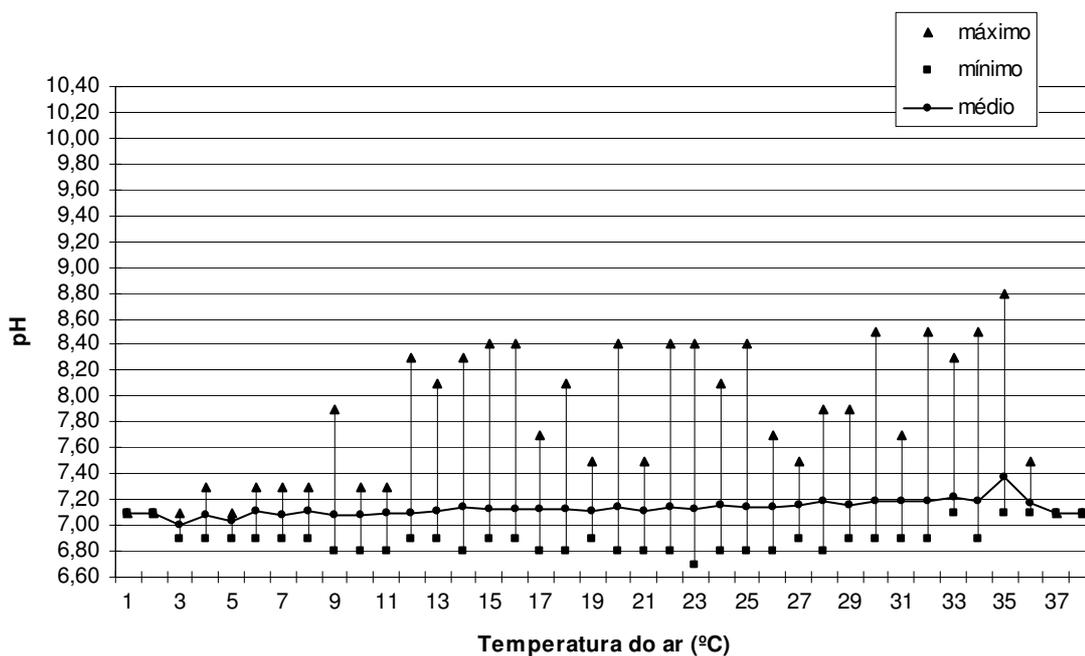


Figura 14 - pH no ponto A em função da temperatura do ar

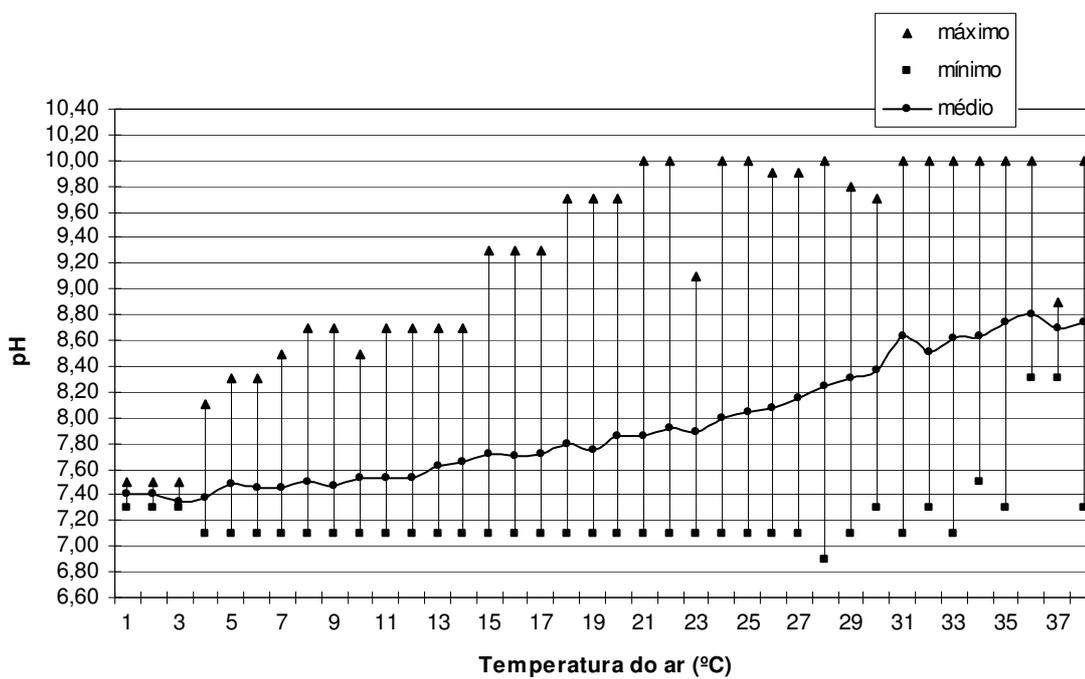


Figura 15 - pH no ponto B em função da temperatura do ar

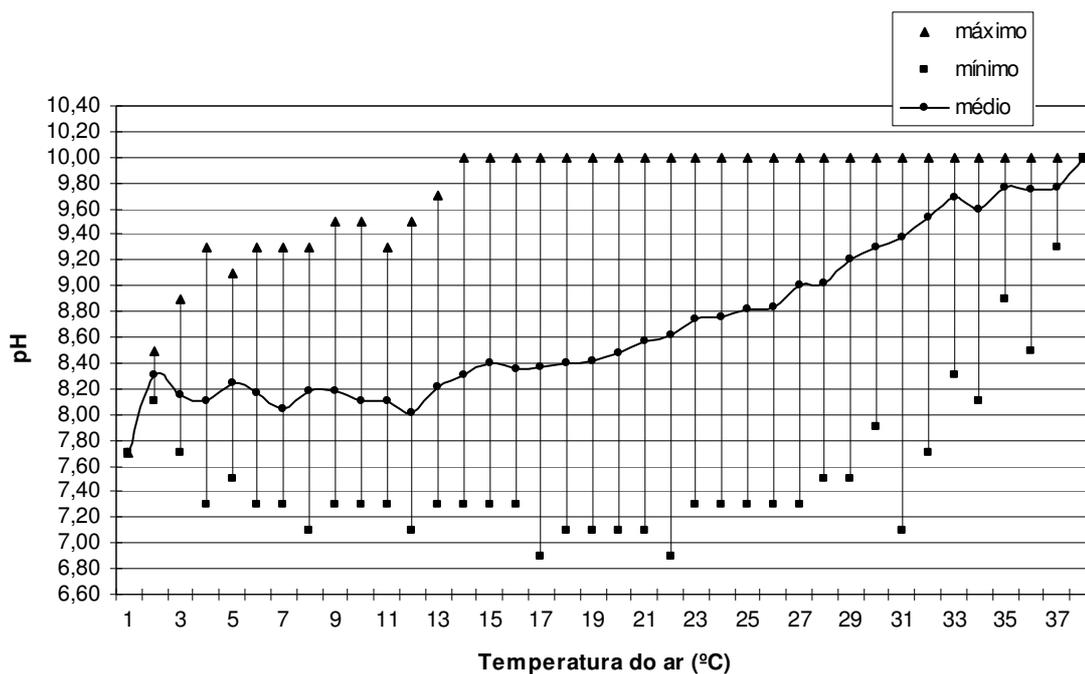


Figura 16 - pH no ponto C em função da temperatura do ar

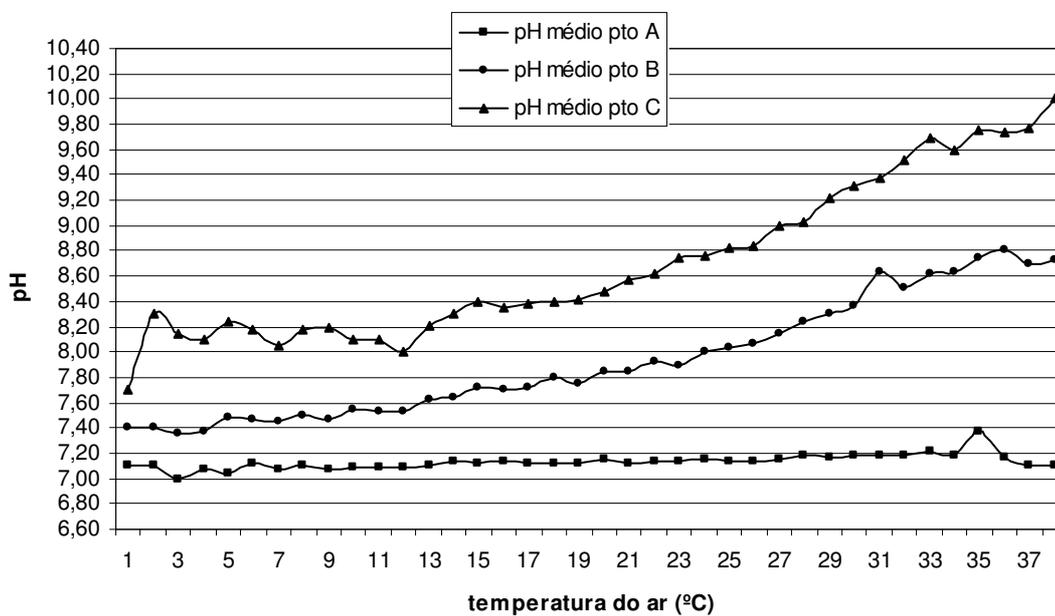


Figura 17 - pH nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar (°C)

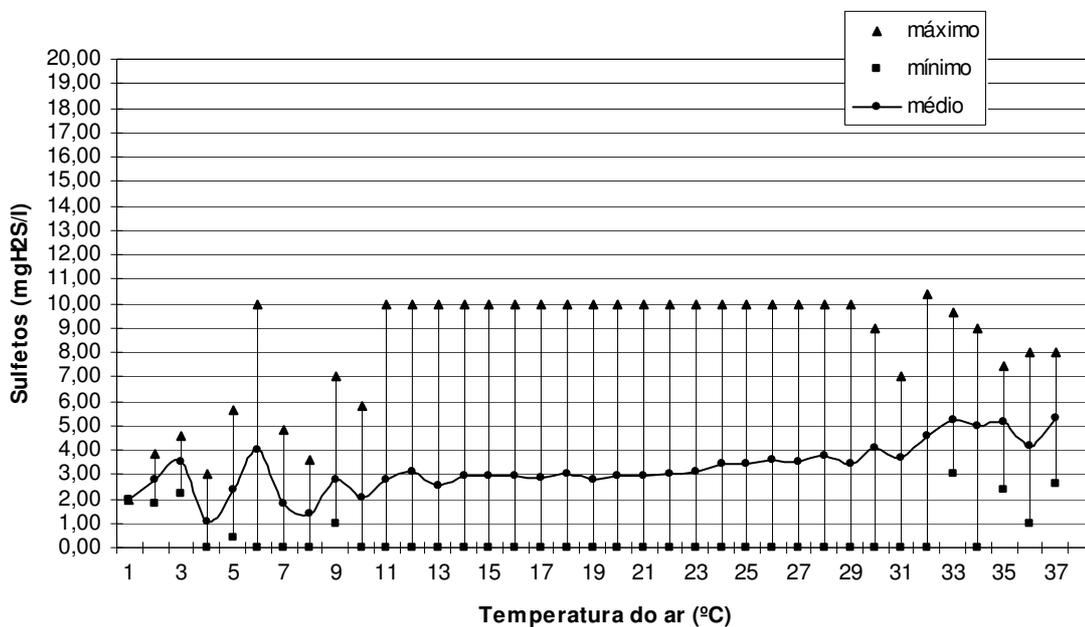


Figura 18 - Sulfetos no ponto A em função da temperatura do ar

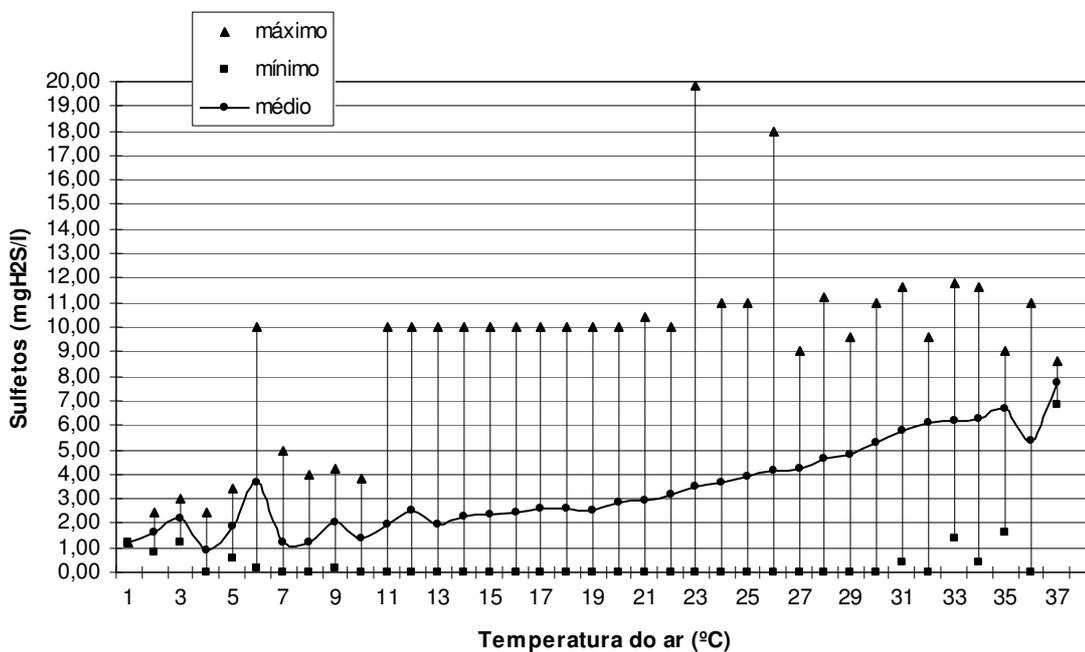


Figura 19 - Sulfetos no ponto B em função da temperatura do ar

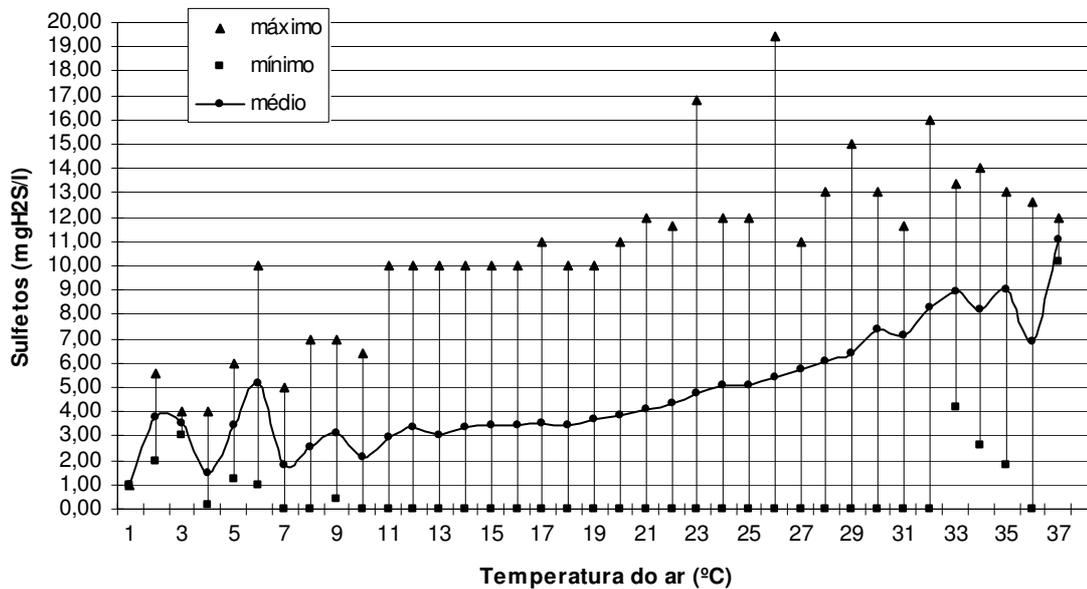


Figura 20 - Sulfetos no ponto C em função da temperatura do ar

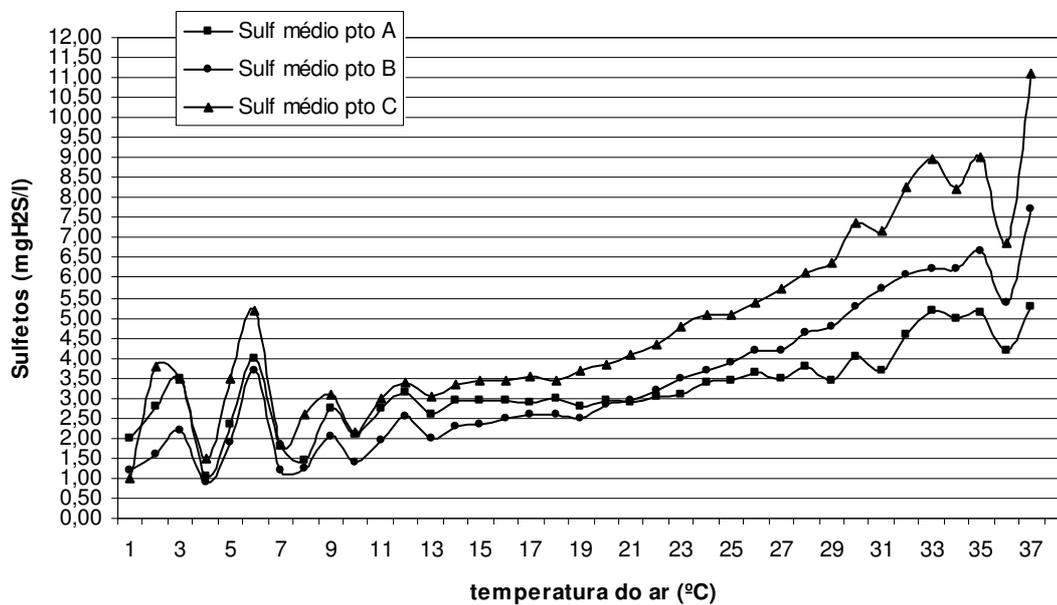


Figura 21 - Sulfetos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar

O número de coletas feitas para os parâmetros de OD, pH e sulfetos nos três pontos do sistema em função da temperatura do ar podem ser encontrados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Número de coletas de OD, pH e sulfetos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar

Temp do ar (°C)	OD pto A	OD pto B	OD pto C	pH Pto A	pH pto B	pH pto C	Sulf pto A	Sulf pto B	Sulf pto C
1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	6	8	8	8	8	8	5	5	5
5	8	10	10	10	10	10	8	8	8
6	14	15	15	15	15	15	11	11	11
7	23	28	28	28	28	28	20	20	20
8	29	35	35	35	35	35	23	23	23
9	49	64	64	64	64	64	40	40	40
10	59	87	86	89	89	89	43	43	43
11	63	84	84	86	86	86	51	51	51
12	71	103	102	104	105	105	62	63	63
13	103	137	137	137	138	138	91	92	92
14	147	187	187	187	187	187	133	133	133
15	191	251	251	252	254	254	166	168	168
16	166	197	197	199	199	199	146	146	146
17	201	246	246	246	249	249	182	185	185
18	176	248	246	246	250	250	156	160	160
19	195	250	250	251	253	253	163	165	165
20	166	275	275	275	278	278	136	139	139
21	195	239	238	238	242	242	164	168	168
22	179	256	256	255	257	257	140	142	142
23	178	225	224	225	226	226	135	136	136
24	188	260	260	257	260	260	151	154	154
25	189	263	263	259	263	263	152	156	156
26	176	221	219	220	223	223	134	137	137
27	125	164	164	162	164	164	96	98	98
28	119	189	188	190	190	190	96	96	96
29	115	144	144	145	146	146	90	92	92
30	122	155	155	151	155	155	84	88	88
31	68	82	82	83	83	83	56	56	56
32	79	99	99	98	99	99	61	62	62
33	44	55	55	56	56	56	33	33	33
34	42	49	49	49	49	49	37	37	37
35	31	40	40	40	40	40	25	25	25
36	14	15	15	15	15	15	11	11	11
37	3	3	3	3	3	3	2	2	2
38	3	3	3	3	3	3	0	0	0
TOTAL	3545	4695	4686	4689	4730	4730	2910	2952	2952

Observando-se as Figuras 10 a 21, pode-se notar que há um significativo aumento dos parâmetros de OD, pH e sulfetos com o aumento da temperatura. Também se pode notar que ocorre um aumento no valor destes parâmetros de A para B e de B para C.

Analisando-se as Figuras 10 a 13, fica evidente que a temperatura, associada à radiação solar, aumenta as taxas de atividade fotossintética, aumentando, por conseqüência, a produção de  $O_2$ , elevando o teor de OD disponível no líquido.

Por outro lado, analisando-se as Figuras 14 a 17, também fica claro que aumenta o consumo de  $CO_2$  pelas algas. Este consumo ocorre a uma taxa maior do que a reposição pela respiração das bactérias. Isto faz com que os íons de bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) presentes se dissociem, não somente para produzirem mais  $CO_2$ , mas também para produzirem o íon hidroxila ( $OH^-$ ), que é alcalino e aumenta o valor do pH do meio.

Pela análise das Figuras 18 a 21, fica evidente que a temperatura eleva a taxa de decomposição anaeróbia no fundo da lagoa, o que resulta em um aumento das concentrações de sulfetos na massa líquida.

É importante ressaltar que a análise de sulfetos, apesar de ter sua unidade expressa em  $mgH_2S/l$ , não representa somente a quantidade  $H_2S$  presente no líquido. Esta análise, é uma análise de sulfetos totais, que representa a quantidade de  $H_2S$ , íons de  $HS^-$  e sulfetos metálicos solúveis em ácidos presentes nos sólidos em suspensão presentes nos esgotos.

Como há um teor de OD diferente de zero na superfície da lagoa, parte dos Sulfetos na forma de  $H_2S$  produzidos no fundo da lagoa são oxidados na superfície, transformando-se no íon  $HS^-$ .

O íon  $HS^-$  é inodoro, diferentemente do  $H_2S$ , que apresenta mau cheiro.

As lagoas de Rosário do Sul não apresentam mau cheiro, confirmando a teoria anterior. A prova de que estas lagoas não apresentam mau cheiro é a existência de residências de baixa renda a menos de 50 metros das lagoas.

O valor mais alto da concentração de sulfetos ( $20mgH_2S/l$ ) foi encontrado na lagoa primária para a temperatura de  $23^\circ C$ , conforme pode ser observado na Figura 19. Esse valor não é considerado prejudicial ao sistema, pois segundo Jordão (2005)

somente valores acima de  $200\text{mgH}_2\text{S/l}$  poderiam afetar negativamente o processo de digestão biológica dos esgotos.

Observando-se as Figuras 10 a 21, observa-se uma instabilidade nas curvas representativas dos parâmetros para a faixa de temperatura entre  $0^\circ\text{C}$  a  $6^\circ\text{C}$  e de  $36^\circ\text{C}$  a  $38^\circ\text{C}$ . Esta instabilidade pode ser explicada observando-se a Tabela 5.3, onde é constatado que para estes intervalos de temperatura foram apenas 43 coletas de dados.

### 5.3.1 Evolução do oxigênio dissolvido

Conforme se observa na Figura 10, na entrada do sistema, o oxigênio dissolvido médio ficou sempre próximo de  $0\text{mgO}_2/\text{l}$ , que é o valor normalmente encontrado para esgoto bruto. Entretanto, foram observados alguns valores altos de OD máximo. Isso pode ser explicado pelo fato de que, algumas vezes, a coleta era feita na entrada da primeira lagoa e não na caixa de areia. Além disso, a rede coletora é unitária e foram feitas algumas coletas em dias chuvosos, o que também explica alguns valores elevados de OD neste ponto.

Analisando-se a Figura 11, percebe-se que no efluente da lagoa primária, o OD médio variou de  $3,95\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $3^\circ\text{C}$ ) a  $13,96\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $36^\circ\text{C}$ ). Foi observado neste ponto um valor máximo de  $30,80\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $17^\circ\text{C}$ ) e mínimo de  $0\text{mgO}_2/\text{l}$ . Este baixo valor significa que podem ter sido coletadas amostras em zonas estagnadas da lagoa.

Analisando-se a Figura 12, constata-se que no efluente da lagoa secundária, o OD médio variou de  $6,80\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $1^\circ\text{C}$ ) a  $16,96\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $33^\circ\text{C}$ ). Foi observado neste ponto um valor máximo de  $30,60\text{mgO}_2/\text{l}$  ( $30^\circ\text{C}$ ) e mínimo de  $0,80\text{mgO}_2/\text{l}$ .

Observando-se a Figura 13, pode se constatar que a inserção de oxigênio na lagoa primária é proporcionalmente maior que a inserção pela lagoa secundária. Por exemplo, para a temperatura de  $15^\circ\text{C}$ , pode-se constatar que a lagoa primária eleva o valor do OD de  $0,5\text{mgO}_2/\text{l}$  a  $7\text{mgO}_2/\text{l}$ , enquanto que a secundária eleva de  $7\text{mgO}_2/\text{l}$  a  $9,5\text{mgO}_2/\text{l}$ .

Ainda observando-se a Figura 13, pode-se constatar que este sistema eleva o teor de OD a valores acima  $10\text{mgO}_2/\text{l}$ . É interessante ressaltar que o corpo receptor do efluente do sistema de lagoas possui oxigênio de saturação inferior a  $10\text{mgO}_2/\text{l}$ .

A temperatura, associada à radiação solar, elevou a fotossíntese a tal ponto que o OD na lagoa secundária ficou acima até mesmo do OD normalmente encontrado nos tanques de aeração dos processos de lodos ativados, que, segundo Jordão (2005), podem chegar ao valor de  $8\text{mgO}_2/\text{l}$ .

Vale ressaltar que os valores de OD foram medidos próximos a superfície das lagoas. Para os pontos mais profundos, o OD provavelmente é menor.

### 5.3.2 Evolução do pH

Analisando-se a Figura 14, conclui-se que na entrada do sistema, o pH médio ficou em torno de 7,10, entretanto, foram observados alguns valores máximos de pH de 8,8 (valores altos). Isto pode ser justificado pelo fato da rede coletora ser do tipo unitária e, por conseqüência, em dias de chuva, o esgoto chegar diluído na ETE, com altos teores de OD.

Analisando-se a Figura 15, constata-se que, no efluente da lagoa primária, o pH médio variou de 7,35 ( $3^\circ\text{C}$ ) a 8,80 ( $36^\circ\text{C}$ ). Foram observados valores máximos de 10 e mínimo de 6,9. Os valores mínimos de pH neste ponto do sistema podem ter sido encontrados em zonas de estagnação da lagoa.

Analisando-se a Figura 16, percebe-se que no efluente da lagoa secundária, o pH variou de 7,70 ( $1^\circ\text{C}$ ) a 10 ( $38^\circ\text{C}$ ). Neste ponto também foram observados valores máximos de 10 e mínimo de 6,9.

Observando-se a Figura 17, percebe-se claramente o aumento do pH ao longo do sistema. Analisando-se esta Figura para a temperatura de  $15^\circ\text{C}$ , constata-se que a lagoa primária eleva o pH de 7,5 a 7,7 e a lagoa secundária de 7,7 a 8,4.

É importante que se ressalte que os valores de pH foram medidos para a superfície da lagoa. Pontos mais profundos estão mais próximos dos locais onde ocorre a decomposição anaeróbica e, portanto, o pH é menor do que o observado na superfície.

### 5.3.3 Evolução de sulfetos

Observando-se a Figura 18, percebe-se que na entrada do sistema, o valor médio dos sulfetos variou de 1,04mgH<sub>2</sub>S/l (4°C) a 5,30mgH<sub>2</sub>S (37°C). Isto indica que, mesmo na canalização, o aumento da temperatura aumenta a taxa de decomposição anaeróbia, e, por conseqüência, aumenta a produção de sulfetos. Neste ponto foram verificados valores máximos de 10mgH<sub>2</sub>S/l e mínimos de 0mgH<sub>2</sub>S/l. Estes valores mínimos podem ser justificados pela rede ser unitária e nos dias de chuva o esgoto chegar a ETE diluído.

Observando-se a Figura 19, nota-se que no efluente da lagoa primária, o valor médio de sulfetos variou de 1,20 mgH<sub>2</sub>S/l (1°C) a 7,7 mgH<sub>2</sub>S/l (37°C). Também é possível observar valores máximos de 20mgH<sub>2</sub>S/l, que são gerados graças à atividade anaeróbia do fundo da lagoa.

Na Figura 19, percebe-se que no efluente da lagoa secundária, o valor médio de sulfetos variou de 1,00mgH<sub>2</sub>S/l (1°C) a 11,10 mgH<sub>2</sub>S/l (37°C), e foram encontrados valores máximos de 20mg/l. Isso evidencia que mesmo sendo rasa (0,80m), existe uma considerável atividade anaeróbia no fundo desta lagoa.

Ao se observar a Figura 21, conclui-se que há um aumento do teor de sulfetos de um ponto para outro, de tal forma que há sempre um saldo positivo no teor de Sulfetos ao longo do sistema.

O interessante é que a temperatura eleva tanto a taxa de produção de OD quanto à produção de sulfetos, ou seja, o aumento da temperatura implica no aumento da atividade fotossintética e da atividade de decomposição anaeróbica.

Ainda é importante salientar que os valores de sulfetos para os pontos B e C foram medidos na superfície das lagoas. Na superfície, os sulfetos estão presentes mais na forma de HS<sup>-</sup> (inodoro) do que na forma de H<sub>2</sub>S. No fundo eles estão presentes mais na forma de H<sub>2</sub>S do que na forma de HS<sup>-</sup>.

### 5.3.4 Variação horária e mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH e sulfetos

Como a temperatura varia ao longo das horas do dia, os parâmetros de OD, pH e sulfetos também variam durante o dia.

Estes parâmetros variam com a temperatura em parte porque ela está diretamente relacionada com a radiação solar. A radiação solar afeta a atividade fotossintética das algas, sendo que quanto maior a temperatura, maior a radiação solar e mais intensa é a fotossíntese.

Em Rosário do Sul constatou-se que a temperatura média do ar aumentou das 7 horas da manhã até as 17 horas e com esse aumento, elevaram-se os valores dos parâmetros de OD, pH e sulfetos.

Observou-se também que as algas produzem grande quantidade de OD ao longo do dia, mas consomem grande quantidade OD durante a noite. Entretanto, mesmo assim, há um saldo positivo no sistema.

Os gráficos da variação horária da temperatura, OD, pH e sulfetos podem ser encontrados no ANEXO I.

Além disso, a temperatura do ar e a intensidade da radiação solar variam ao longo dos meses do ano, e os valores dos parâmetros de OD, pH e sulfetos acompanham essa variação.

Na ETE Rosário do Sul, constatou-se que, para os meses de verão, a média dos valores de OD, pH, e sulfetos foi mais alta do que a média destes parâmetros para os meses de inverno.

Os gráficos da variação mensal da temperatura, OD, pH e sulfetos podem ser encontrados no ANEXO II.

#### **5.4 Remoção de sólidos suspensos e de sólidos sedimentáveis ao longo do sistema**

Os gráficos elaborados para avaliar-se a influência da temperatura do ar sobre a remoção de sólidos suspensos e sedimentáveis podem ser visualizados nas figuras 22 a 25.

Na Figura 22, encontra-se o gráfico de sólidos sedimentáveis nos três pontos do sistema em função da temperatura do ar.

A Figura 23 apresenta o gráfico de sólidos suspensos nos três pontos do sistema em função da temperatura do ar.

Na Figura 24, encontra-se o gráfico da eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis de A/B, de B/C e de A/C em função da temperatura do ar.

A Figura 25 apresenta o gráfico da eficiência de remoção de sólidos suspensos de A/B, de B/C e de A/C em função da temperatura do ar.

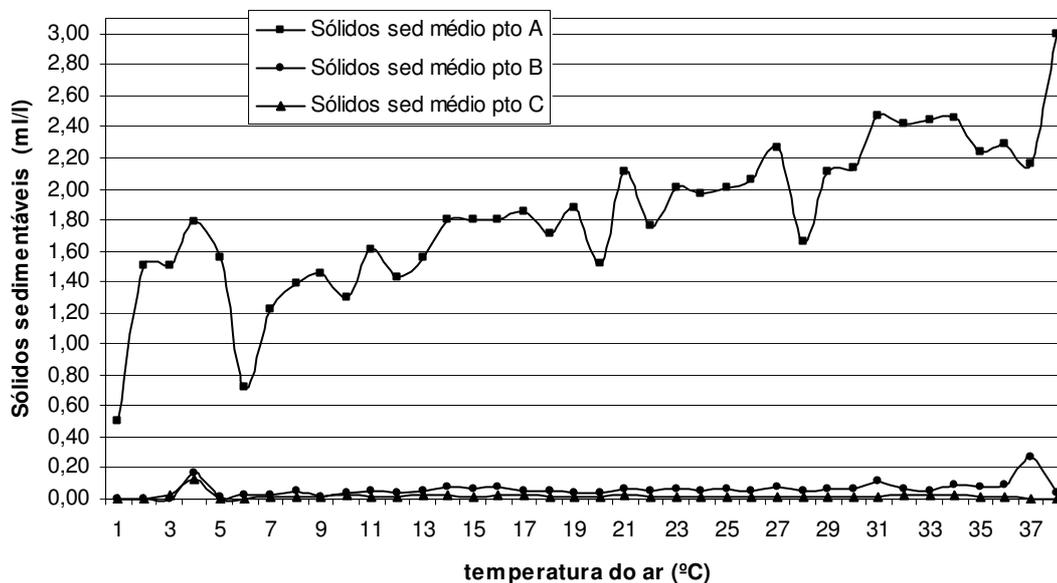


Figura 22 - Sólidos sedimentáveis nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar

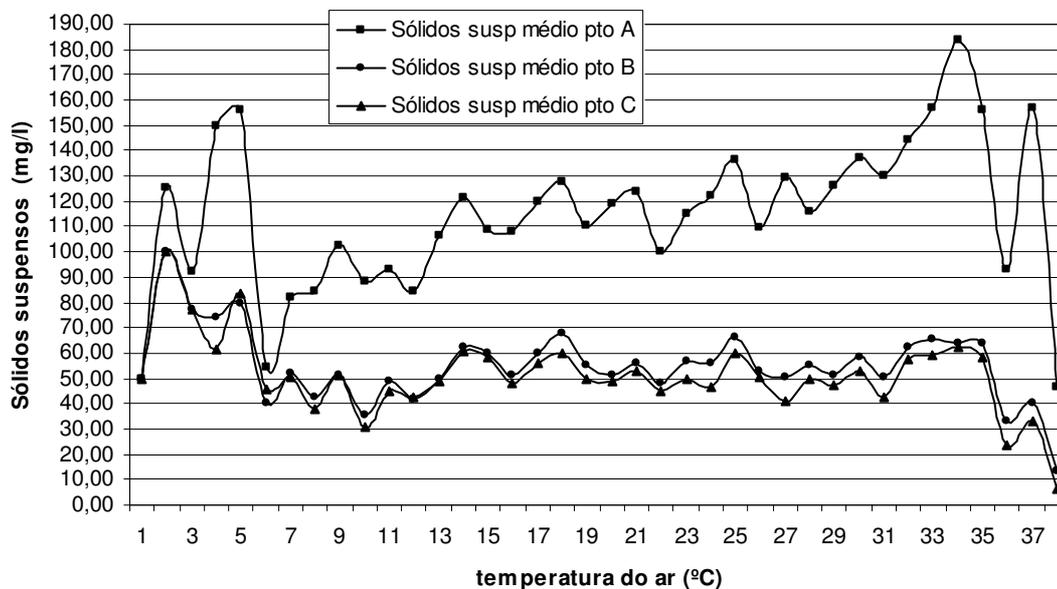


Figura 23 - Sólidos suspensos nos pontos A, B e C em função da temperatura do ar

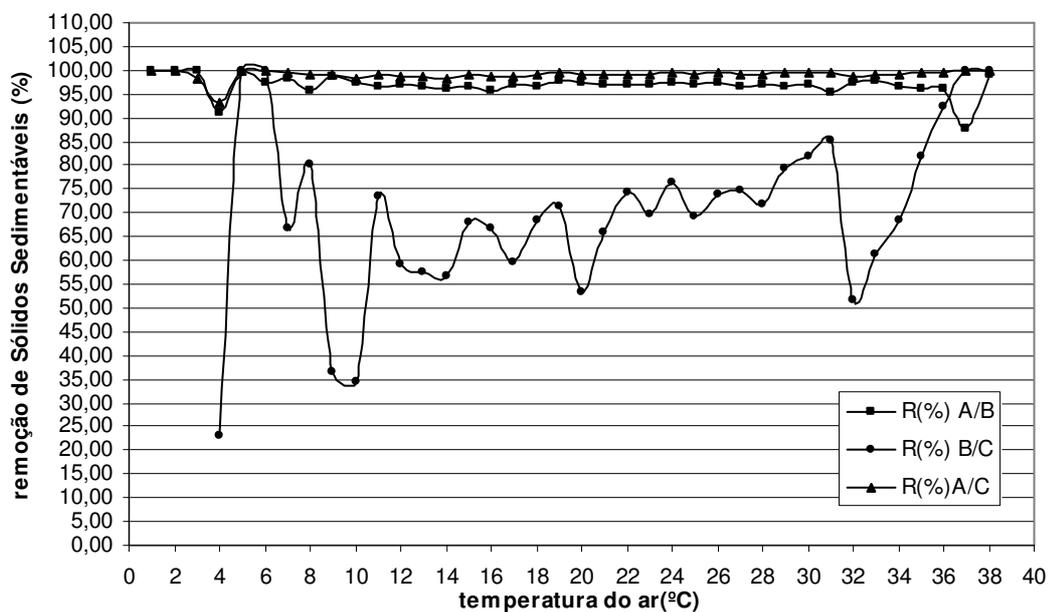


Figura 24 - Eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis em função da temperatura do ar

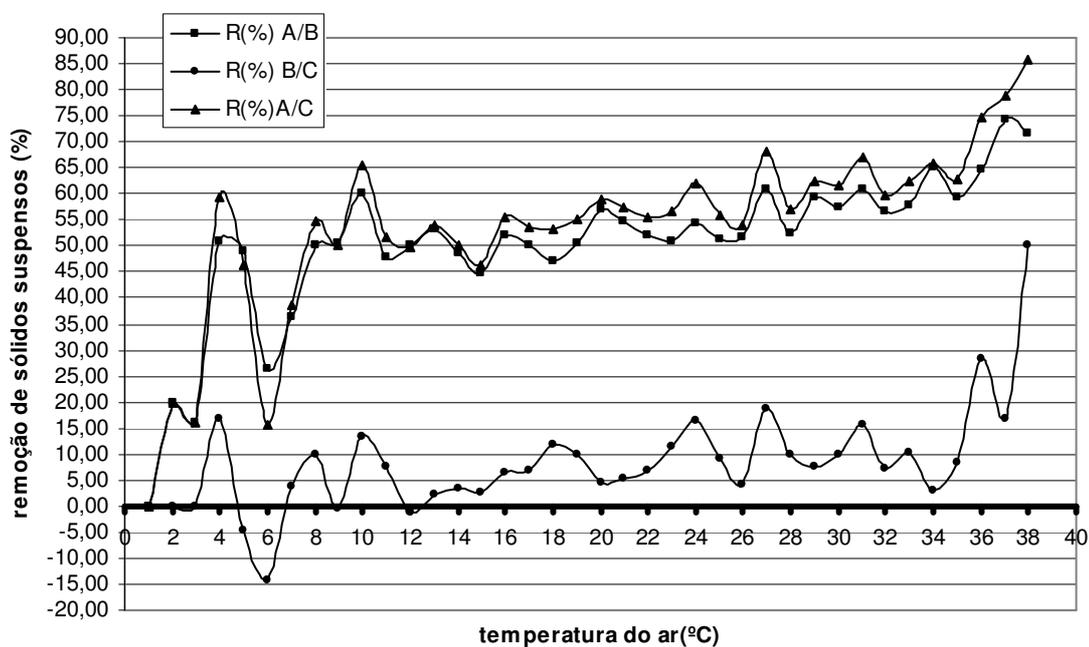


Figura 25 - Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função da temperatura do ar

O número de coletas de sólidos sedimentáveis e suspensos pode ser encontrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Número de coletas de sólidos sedimentáveis e suspensos em função da temperatura do ar (°C)

Temperatura do ar (°C)	SSed pto A	SSed pto B	SSed pto C	SSusp Pto A	SSusp pto B	Ssusp pto C
1	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2
3	4	4	4	4	4	4
4	8	8	8	4	4	4
5	10	10	10	8	8	8
6	15	15	15	14	14	14
7	28	28	28	21	21	21
8	35	35	35	26	26	26
9	64	64	64	51	51	51
10	89	89	89	58	58	58
11	86	86	86	64	64	64
12	104	105	105	72	73	73
13	137	138	138	99	100	100
14	187	187	187	144	144	144
15	252	254	254	190	191	192
16	199	199	199	162	162	162
17	246	249	249	195	198	198
18	246	250	250	175	179	179
19	251	253	253	197	199	199
20	275	278	278	170	173	172
21	238	242	242	196	200	200
22	255	257	257	175	177	177
23	225	226	226	178	179	179
24	257	260	260	183	186	186
25	259	263	263	188	192	192
26	220	223	223	177	180	180
27	162	164	164	125	127	127
28	190	190	190	119	119	119
29	144	146	146	114	116	116
30	151	155	155	118	121	122
31	83	83	83	69	69	69
32	98	99	99	78	79	79
33	56	56	56	43	43	43
34	49	49	49	41	41	41
35	40	40	40	30	30	30
36	15	15	15	14	14	14
37	3	3	3	3	3	3
38	3	3	3	3	3	3
TOTAL	4688	4730	4730	3512	3552	3553

#### 5.4.1 Sólidos sedimentáveis

Na Figura 22, observa-se que o valor médio de sólidos sedimentáveis no ponto A varia de 0,50 ml/l (1°C) a 3,00ml/l (38°C). Nesta figura constata-se claramente que a concentração de sólidos sedimentáveis no esgoto bruto aumenta com o aumento da temperatura do ar.

O que ocorre é que as residências ligadas a rede de esgotos da ETE são providas de fossa séptica. Erroneamente, a população tem o hábito de ligar as tubulações de drenagem pluvial dos telhados de suas casa às fossa sépticas. Conseqüentemente, nas primeiras chuvas do inverno, as fossas são “lavadas” pela água da chuva. Assim, a fossa séptica começa a acumular novamente matéria orgânica e, assim, libera uma carga orgânica menor durante os meses de temperatura mais baixa. Quando chegam as épocas de verão, o período de chuvas cessa e as fossas começam a liberar novamente matéria orgânica em concentrações mais elevadas.

Isso pode ser verificado observando-se o ANEXO II, onde a média das concentrações de sólidos sedimentáveis é mais baixa para os meses de inverno e mais alta para os meses de verão.

No ponto B, a concentração de sólidos sedimentáveis varia de 0,00ml/l a 0,27ml/l(37°C) e no ponto C, de 0,00ml/l a 0,13ml/l (4°C).

Na Figura 24, observa-se de um modo geral, uma redução média de sólidos sedimentáveis em torno dos 96% de A/B, em torno de 70% de B/C e de 99% de A/C. Não se observa aumento da eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis com o aumento da temperatura.

Considerando o efeito da temperatura sobre a presença de sólidos sedimentáveis, poderia se pensar que, quando a temperatura aumenta, diminui a densidade do líquido, aumentando a tendência dos sólidos sedimentarem.

Entretanto, não foi possível fazer essa constatação porque os valores médios de sólidos sedimentáveis na lagoa primária e na lagoa secundária são muito baixos. Assim fica difícil tentar observar qualquer influência da temperatura sobre estes valores.

#### 5.4.2 Sólidos suspensos

Na Figura 23 constata-se que o valor médio de sólidos suspensos no ponto A varia de 46,67 mg/l (38°C) a 183,32mg/l (34°C). Observa-se na curva de sólidos suspensos do Ponto A a mesma tendência da curva de sólidos sedimentáveis do ponto A, ou seja, para as maiores temperaturas há uma maior presença de sólidos em suspensão no esgoto bruto. Isto também se justifica pela “lavagem” das fossas pela água da chuva, no início das primeiras chuvas do inverno.

Ainda, na Figura 23, observa-se que no ponto B o teor de sólidos suspensos varia de 13,33 mg/l (38°C) a 100mg/l (2°C), e no ponto C varia de 6,67mg/l (38°C) a 100mg/l (2°C).

Observando-se a Figura 25, percebe-se, de um modo geral, uma redução média de sólidos suspensos em torno dos 53% de A/B, em torno de 7% de B/C e em torno de 56% de A/C.

Essas baixas eficiências de remoção de sólidos suspensos estão ligadas ao fato de que estas lagoas estão repletas de algas e as algas também aparecem na análise de sólidos suspensos. Assim, a lagoa remove os sólidos suspensos provenientes dos esgotos brutos, mas retorna sólidos suspensos em forma de alga para o corpo receptor.

O interessante da Figura 25, é que nela se observa um pequeno aumento da eficiência da remoção de sólidos suspensos com o aumento da temperatura, o que é perfeitamente compreensível, pois a temperatura aumenta a taxa de degradação de matéria orgânica.

Pode-se constatar na Tabela 5.3 que o maior número de análises de sólidos sedimentáveis e suspensos foi realizado para o intervalo de temperatura de 6°C a 36°C. Assim, para esta faixa de temperatura, os gráficos representam melhor a variação de sólidos e a variação da eficiência de remoção de sólidos.

## 5.5 Variação da vazão em função da temperatura do ar e das horas do dia

Os gráficos elaborados para analisar o aumento ou diminuição da vazão em função da temperatura do ar podem ser visualizados nas figuras 26 a 30.

Na Figura 26 consta o gráfico da variação da vazão em função da temperatura para qualquer estado de tempo.

A Figura 27 apresenta a variação da vazão em função da temperatura do ar somente para estado de tempo bom; a Figura 28, para estado de tempo instável; e a figura 29 para estado de tempo chuvoso.

A Figura 30 apresenta um comparativo entre a variação da vazão para os três estados de tempo.

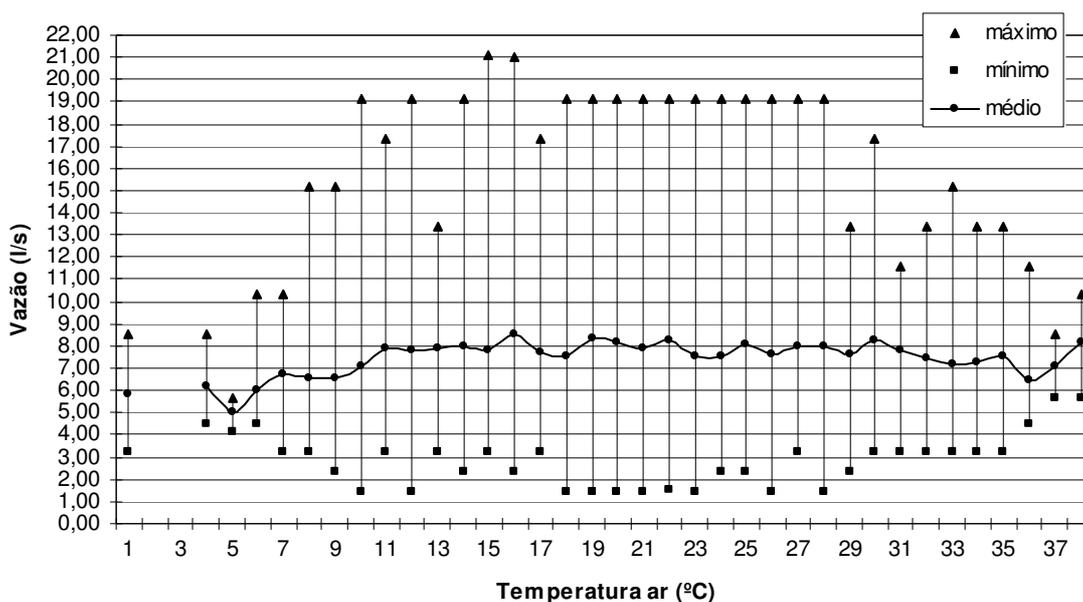


Figura 26 - Variação da vazão no sistema em função da temperatura do ar

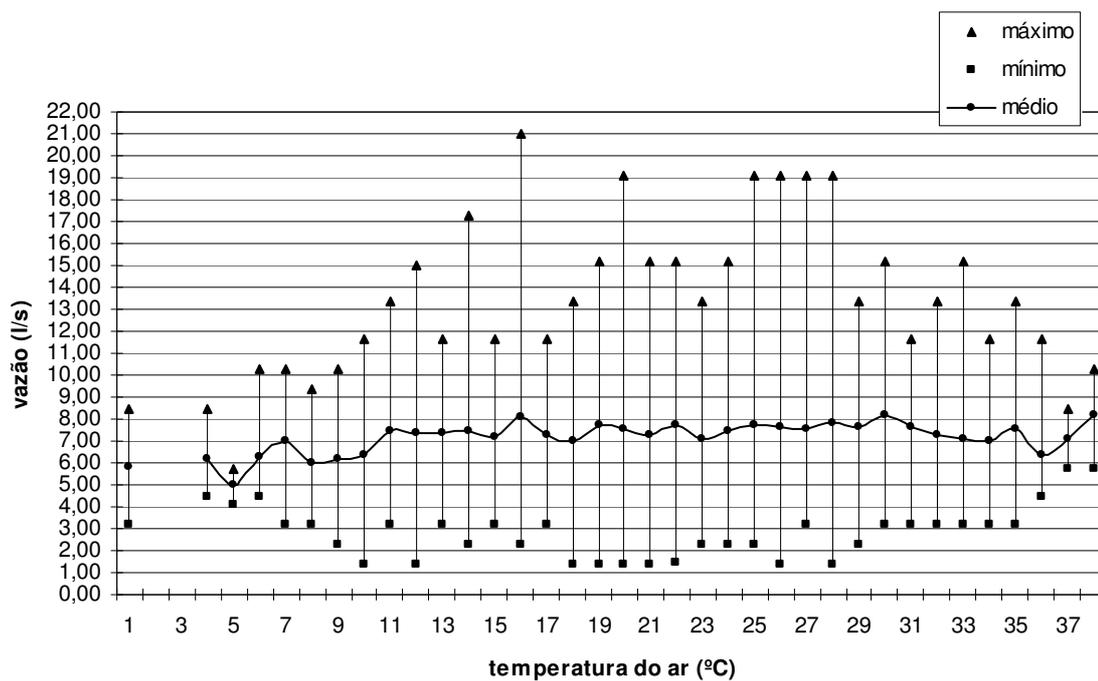


Figura 27 - Variação da vazão nos dias de tempo seco em função da temperatura do ar

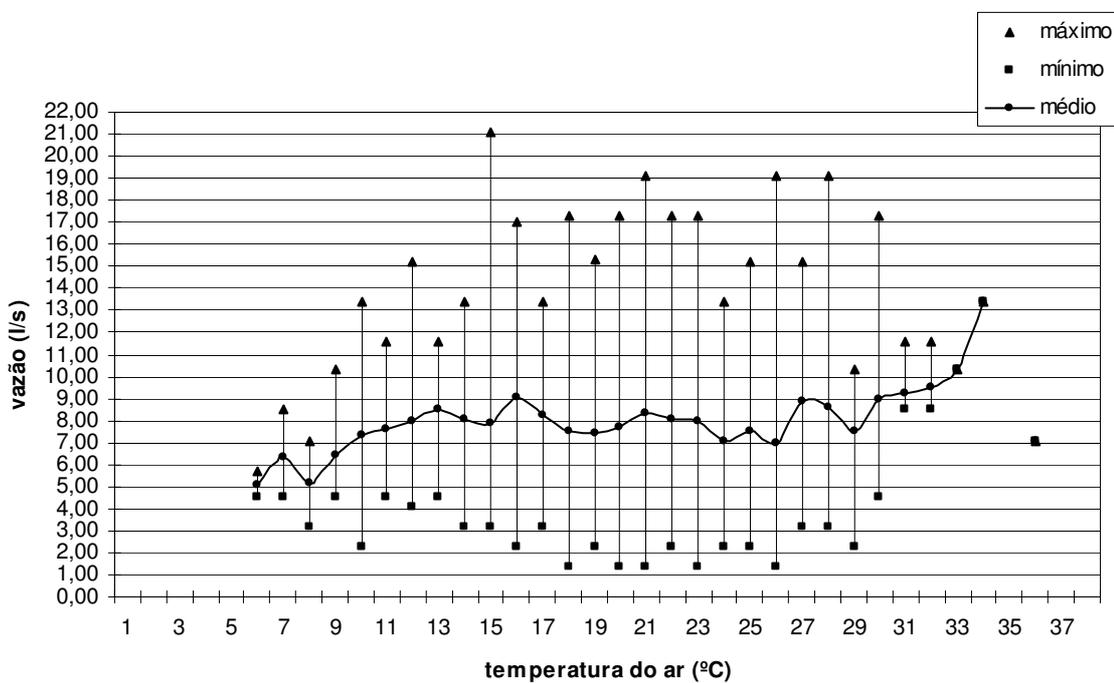


Figura 28 - Variação da vazão nos dias de tempo instável em função da temperatura do ar

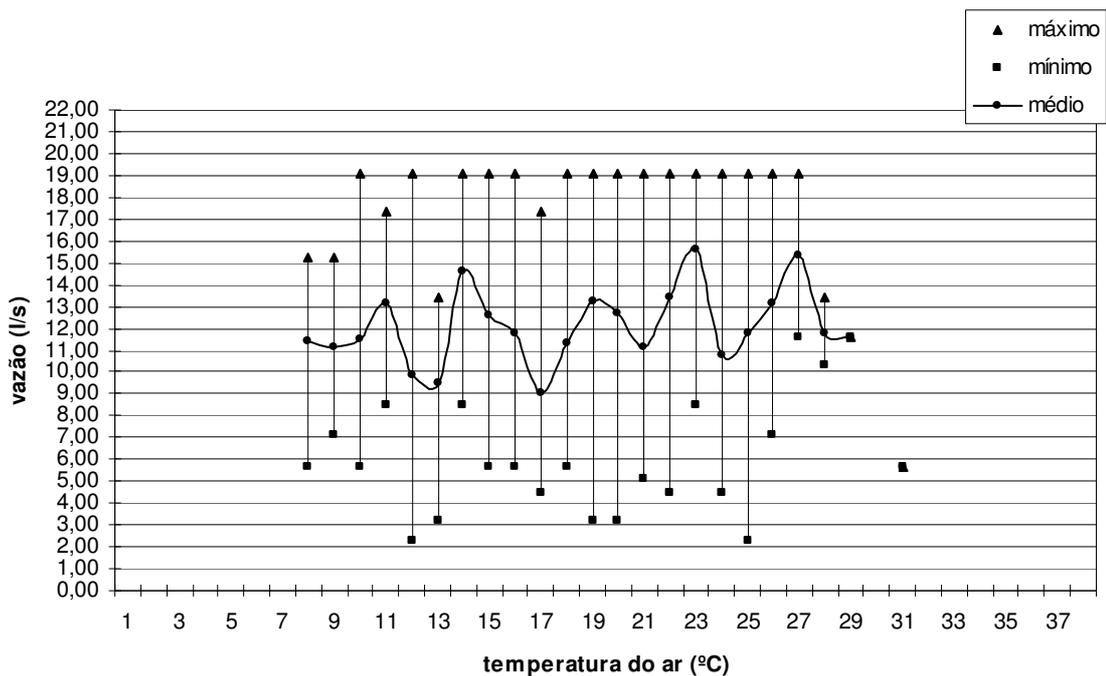


Figura 29 - Variação da vazão nos dias de tempo chuvoso em função da temperatura do ar

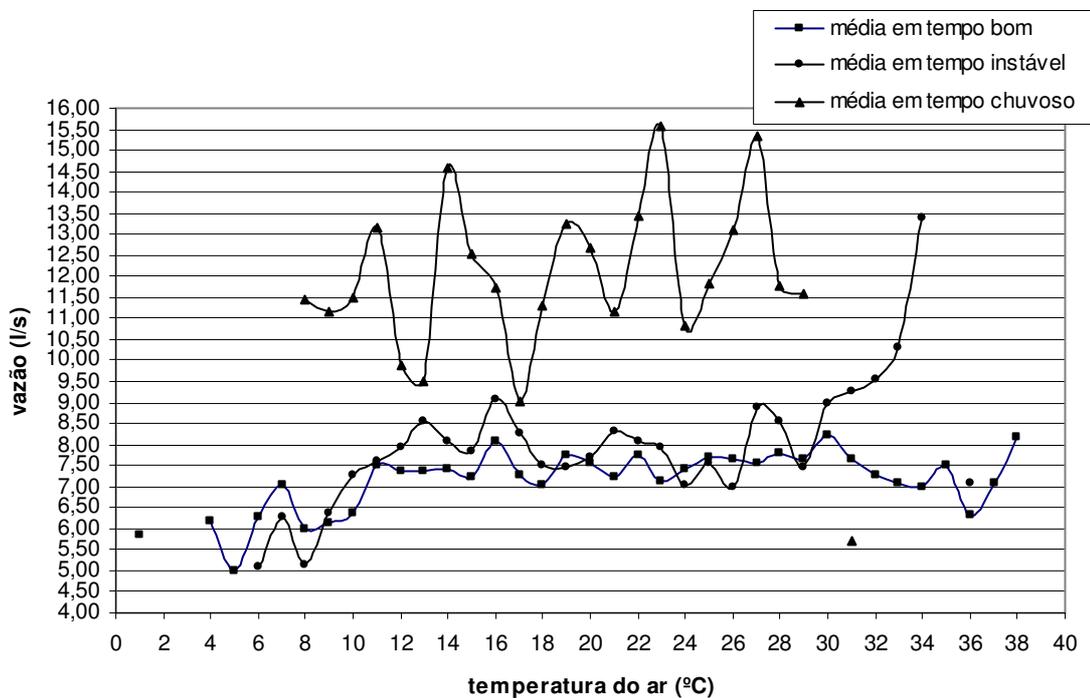


Figura 30 - Variação da vazão nos dias de tempo seco, instável e chuvoso em função da temperatura do ar

O número de medições de vazão para os diferentes estados do tempo pode ser encontrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Número de coletas de vazão para tempo seco, instável, e chuvoso em função da temperatura do ar

Temperatura do ar (°C)	Tempo bom	Tempo instável	Tempo chuvoso	TOTAL
1	2	0	0	2
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	6	0	0	6
5	4	0	0	4
6	6	2	0	8
7	9	5	0	14
8	16	4	3	23
9	21	11	2	34
10	44	12	7	63
11	38	11	4	53
12	46	11	9	66
13	44	24	6	74
14	54	23	4	81
15	79	35	10	124
16	69	29	6	104
17	74	38	15	127
18	82	41	13	136
19	77	43	17	137
20	117	43	22	182
21	71	31	9	111
22	116	41	13	170
23	92	28	3	123
24	118	26	9	153
25	104	22	13	139
26	115	23	2	140
27	77	20	2	99
28	104	17	3	124
29	67	8	1	76
30	76	8	0	84
31	41	4	1	46
32	49	3	0	52
33	26	1	0	27
34	19	1	0	20
35	21	0	0	21
36	8	1	0	9
37	2	0	0	2
38	3	0	0	3
TOTAL	1897	566	174	2637

Quando se analisa o consumo de água por uma população frente à variação da temperatura do ar, espera-se que nos dias mais quentes o consumo seja mais elevado.

Entretanto, observando-se a Figura 26, que descreve o comportamento da vazão frente ao aumento da temperatura para qualquer situação de tempo, pode-se constatar que a vazão afluente a ETE não aumenta nem diminui consideravelmente, permanecendo sempre próximo aos 8l/s.

Como a rede coletora de esgotos de Rosário do Sul é do tipo unitária, coletando também as águas da chuva, pode-se supor que nas baixas temperaturas a vazão seja tão grande quanto nos dias quentes, devido à contribuição das pequenas pancadas de chuva que normalmente ocorrem no inverno.

Na Figura 27, que leva em consideração a vazão medida somente nos dias de tempo bom, também não é possível observar um maior consumo de água nas temperaturas mais elevadas.

Observando-se as Figuras 27 a 30, nota-se claramente que a vazão média em dias de tempo chuvoso é maior do que a vazão média em dias de tempo instável, que é mais elevada que a vazão média nos dias de tempo bom.

O gráfico elaborado para analisar a variação da vazão média em função das horas do dia pode ser encontrado na Figura 31

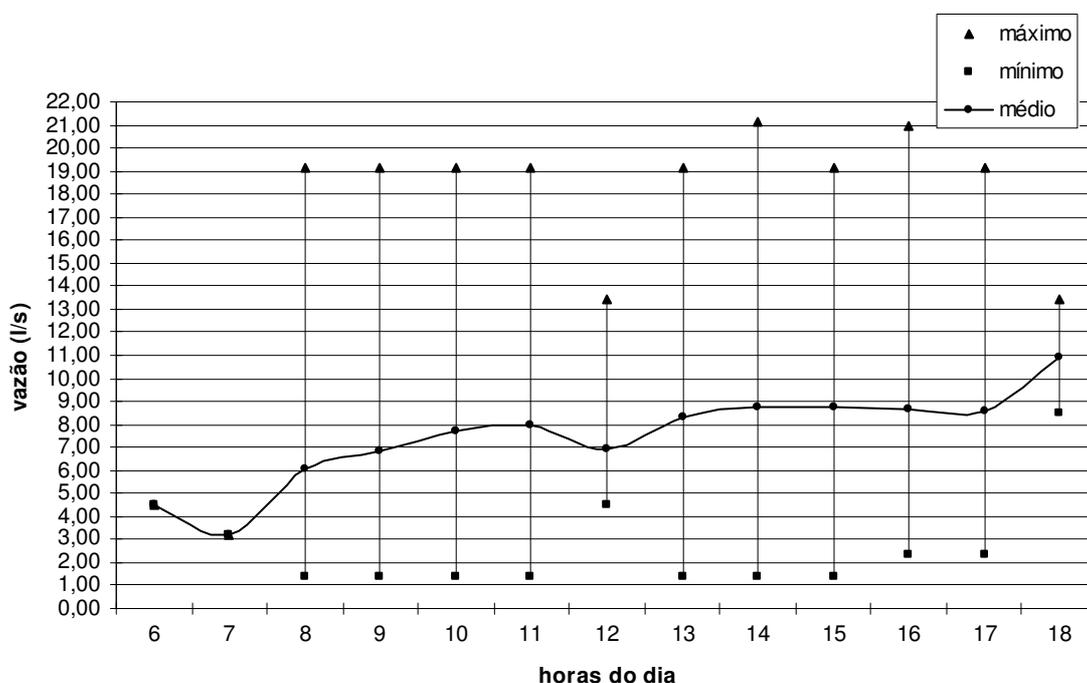


Figura 31 - Variação da vazão média em função das horas do dia

O número de medições de vazão em função das horas do dia pode ser encontrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Número de coletas de vazão em função das horas do dia

hora	Número de coletas de vazão
6:00	1
7:00	1
8:00	336
9:00	342
10:00	339
11:00	288
12:00	9
13:00	226
14:00	345
15:00	325
16:00	260
17:00	108
18:00	4
TOTAL	2584

Obs: Nessa tabela só estão presentes as medições feitas nas horas “inteiras”. Além dessas, foram realizadas mais 53 coletas em horários “quebrados”.

O gráfico com o valor fictício de 4,5l/s para os horários onde não houve medição de vazão (horários da noite) pode ser visualizado na Figura 32.

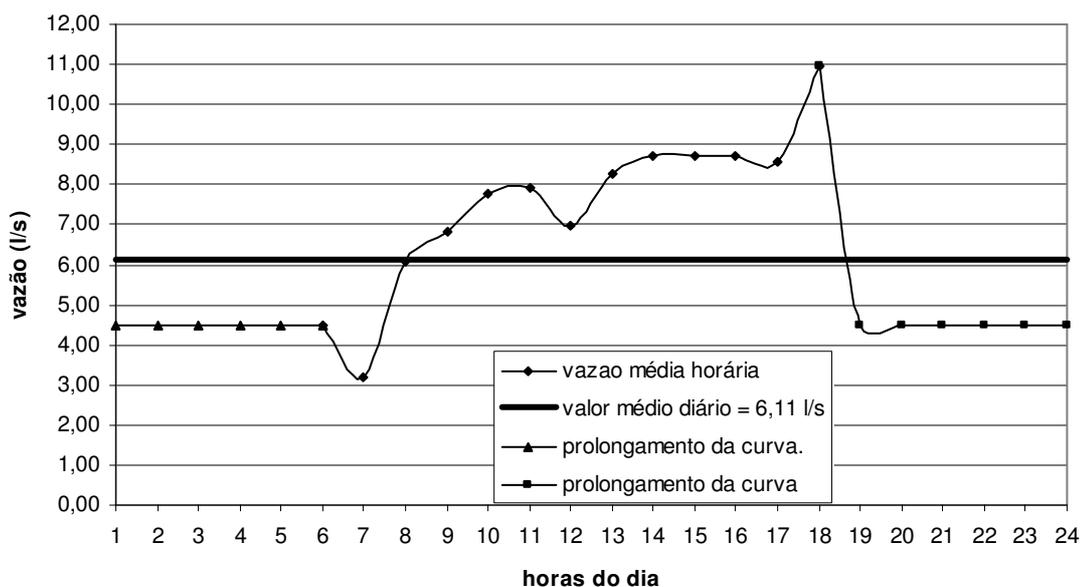


Figura 32 - Obtenção do valor médio diário de vazão

Na Tabela 5.7 pode ser encontrado o cálculo da vazão média diária afluyente a ETE, considerando o consumo noturno da ETE.

Tabela 5.7 - Vazão x horas do dia – obtenção do valor médio diário

Hora	Vazão(l/s)	
1:00	4,50	
2:00	4,50	
3:00	4,50	
4:00	4,50	
5:00	4,50	
6:00	4,50	
7:00	3,20	
8:00	6,09	
9:00	6,83	
10:00	7,74	
11:00	7,94	
12:00	6,96	
13:00	8,28	
14:00	8,72	
15:00	8,73	
16:00	8,70	
17:00	8,54	
18:00	10,95	Média diária dos valores medidos = 7,85l/s
19:00	4,50	
20:00	4,50	
21:00	4,50	
22:00	4,50	
23:00	4,50	
24:00	4,50	Média diária com o prolongamento da curva = 6,11l/s

Na Figura 31, percebe-se que há um aumento gradativo da vazão ao longo do dia. Uma pequena diminuição ocorre ao meio dia, mas nesse horário foram realizadas apenas 9 medições de vazão, conforme pode ser constatado na tabela 5.5.

Ainda observando-se a Figura 31, constata-se que a vazão média as 6 horas da manhã, é de 4,5l/s e a vazão média das 18 horas é de 11l/s. Observa-se valores máximos de vazão de 21l/s e mínimos de 1,5l/s.

A vazão média diária, calculada pela média das vazões das 6 horas da manhã até as 18 horas é de 7,85l/s, conforme o cálculo da Tabela 5.6.

Estendendo-se o gráfico da vazão em função das horas, atribuindo o valor de 4,5l/s para as horas onde não houve medições de vazão (período da noite), conforme mostra a Figura 32, obteve-se uma vazão diária média de 6,11 l/s.

A vazão de 7,85l/s, para a população da rede que é de 4984 pessoas, corresponde a uma contribuição individual de esgotos de 136l/pessoa.dia, que considerando uma taxa de retorno de 80%, corresponde a um consumo individual de água tratada de 170l/pessoa.dia. Este consumo individual para a cidade de Rosário do Sul, que é uma cidade de pequeno porte, é considerado alto. Assim, se a vazão de 7,85l/s for considerada como a vazão média como afluente da ETE, estará se incorrendo numa superestimação da vazão. E se essa vazão for considerada para compor as cargas orgânicas afluentes a ETE, estará se superestimando a carga orgânica afluente a ETE.

Por outro lado, a vazão de 6,11l/s, para a população de 4984 pessoas ligadas à rede, corresponde a uma contribuição individual de esgotos de 106l/pessoa.dia, que considerando uma taxa de retorno de 80%, corresponde a um consumo de 132l/pessoa.dia. Este consumo individual de 132l/pessoa por dia é próximo ao normalmente encontrado para cidades de tamanho similar a Rosário do Sul.

Com este valor de 6,11l/s é composta a carga orgânica afluente a ETE. Com este valor médio também é estimado o tempo de detenção hidráulica do esgoto nas lagoas.

Para o valor de 6,11l/s tem-se um tempo de detenção de 9,10 dias na lagoa primária, de 12,27 dias na lagoa secundária e 21,37 dias no sistema.

## **5.6 Concentrações de matéria orgânica e eficiência de remoção de DBO em função da temperatura do ar.**

O cálculo da concentração média de matéria orgânica para diferentes intervalos de temperatura podem ser encontrados nas Tabelas 5.8 a 5.11.

Na Tabela 5.8, consta a média das concentrações para intervalos de 1°C. Nesta tabela também são calculadas as eficiências médias de remoção de matéria orgânica para o intervalo de 1°C.

A Tabela 5.9 apresenta a média das concentrações e as médias das eficiências de remoção para intervalos de 5°C.

Na Tabela 5.10, consta a média das concentrações e eficiências para intervalos de 10°C.

A Tabela 5.11 apresenta a média das concentrações e eficiências para intervalos de 20°C.

Tabela 5.8 - Média das concentrações de DBO (mgO<sub>2</sub>/l) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de 1°C de temperatura.

Temperatura do ar (°C)	DBO pto A (mgO <sub>2</sub> /l)	DBO pto B (mgO <sub>2</sub> /l)	DBO pto C (mgO <sub>2</sub> /l)	R(%) A/B	R(%) B/C	R(%) A/C	Número de coletas
>2 <=3	97,00	15,00	9,00	84,54	40,00	90,72	1
>3 <=4	225,00	45,00	21,00	80,00	53,33	90,67	2
>4 <=5	426,00	30,00	27,00	92,96	10,00	93,66	1
>5 <=6	135,67	34,00	17,33	74,94	49,02	87,22	3
>6 <=7	135,00	38,50	21,00	71,48	45,45	84,44	2
>7 <=8	168,43	58,04	29,71	65,54	48,81	82,36	7
>8 <=9	163,71	50,26	20,93	69,30	58,36	87,22	14
>9 <=10	175,33	50,28	28,83	71,32	42,65	83,56	18
>10 <=11	167,73	54,09	18,00	67,75	66,72	89,27	11
>11 <=12	158,24	47,08	25,43	70,25	45,98	83,93	21
>12 <=13	181,69	48,69	24,38	73,20	49,94	86,58	16
>13 <=14	173,06	44,07	22,48	74,54	48,98	87,01	33
>14 <=15	181,79	49,34	26,80	72,86	45,69	85,26	56
>15 <=16	154,02	53,55	33,86	65,23	36,77	78,02	43
>16 <=17	187,68	54,97	30,00	70,71	45,42	84,02	47
>17 <=18	187,68	50,28	28,58	73,21	43,16	84,77	50
>18 <=19	181,60	49,28	29,47	72,86	40,20	83,77	57
>19 <=20	175,07	57,42	31,63	67,20	44,91	81,93	57
>20 <=21	198,65	61,45	33,23	69,06	45,92	83,27	37
>21 <=22	179,11	51,34	31,11	71,33	39,42	82,63	56
>22 <=23	211,14	60,81	36,22	71,20	40,44	82,85	37
>23 <=24	197,67	47,13	28,13	76,16	40,31	85,77	46
>24 <=25	229,57	56,94	34,52	75,20	39,37	84,96	54
>25 <=26	183,11	52,67	32,68	71,24	37,96	82,15	37
>26 <=27	205,09	51,97	32,11	74,66	38,20	84,34	35
>27 <=28	201,55	56,67	35,79	71,89	36,84	82,24	38
>28 <=29	228,45	72,88	41,05	68,10	43,68	82,03	22
>29 <=30	211,67	52,88	41,61	75,02	21,32	80,34	33
>30 <=31	238,33	72,67	39,33	69,51	45,87	83,50	12
>31 <=32	196,62	57,15	29,92	70,93	47,64	84,78	13
>32 <=33	257,38	65,00	44,46	74,75	31,60	82,73	13
>33 <=34	304,56	69,78	42,00	77,09	39,81	86,21	9
>34 <=35	195,00	36,57	23,43	81,25	35,94	87,99	7
>35 <=36	276,67	93,33	60,67	66,27	35,00	78,07	3
>36 <=37	150,00	37,00	18,00	75,33	51,35	88,00	1
>37 <=38	220,00	75,00	75,00	65,91	0,00	65,91	2

Tabela 5.9 - Média das concentrações de DBO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de  $5^\circ\text{C}$  de temperatura.

Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ )	DBO pto A ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto B ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto C ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	R(%) A/B	R(%) B/C	R(%) A/C	Número de coletas
>0 <=5	243,25	33,75	19,50	86,13	42,22	91,98	4
>5 <=10	166,00	49,86	25,32	66,96	49,22	84,75	44
>10 <=15	174,93	48,03	24,56	72,54	48,87	85,96	137
>15 <=20	177,79	53,08	30,62	70,14	42,31	82,78	254
>20 <=25	202,97	54,96	32,48	72,92	40,91	84,00	230
>25 <=30	203,78	56,18	36,18	72,43	35,60	82,25	165
>30 <=35	238,30	61,93	36,69	74,01	40,76	84,61	54
>35 <=40	236,67	77,83	58,33	67,11	25,05	75,35	6

Tabela 5.10 - Média das concentrações de DBO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de  $10^\circ\text{C}$  de temperatura.

Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ )	DBO pto A ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto B ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto C ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	R(%) A/B	R(%) B/C	R(%) A/C	Número de coletas
>0 <=10	172,44	48,52	24,83	71,86	48,82	85,60	48
>10 <=20	176,79	51,31	28,50	70,98	44,46	83,88	391
>20 <=30	203,30	55,47	34,02	72,72	38,67	83,27	395
>30 <=40	238,13	63,52	38,85	73,33	38,83	83,69	60

Tabela 5.11 - Média das concentrações de DBO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ) nos pontos A, B e C, redução de um ponto para outro e número de coletas para intervalos de  $20^\circ\text{C}$  de temperatura.

Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ )	DBO pto A ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto B ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO pto C ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	R(%) A/B	R(%) B/C	R(%) A/C	Número de coletas
>0 <=20	176,31	51,00	28,10	71,07	44,91	84,06	439
>20 <=40	207,90	56,53	34,66	72,81	38,69	83,33	455

Como as reações biológicas de decomposição da matéria orgânica apresentam uma tendência de aumentarem com o aumento da temperatura, é de se esperar que quanto maior a temperatura do sistema de tratamento, mais eficiente é este sistema.

Entretanto, analisando-se as Tabelas 5.8 a 5.11, quase não é possível de se verificar aumento de remoção de matéria orgânica em função do aumento da temperatura.

Pequenos aumentos de eficiência foram verificados apenas nas Tabelas 5.10 e 5.11, para intervalos de 10°C e 20°C e mesmo assim, só na lagoa primária. Na lagoa secundária e no sistema como um todo, não se observou esse aumento.

O que pode ser constatado é que as maiores concentrações de matéria orgânica são dadas para as maiores temperaturas e mesmo assim a eficiência média do sistema se mantém.

Assim como nos sólidos sedimentáveis e suspensos, o fato de se observar maiores concentrações nas temperaturas mais altas pode ser explicado porque boa parte das residências da rede coletora são providas de fossas sépticas e essas fossas normalmente estão interligadas com o a tubulação pluvial dos telhados. Nos primeiros dias de inverno, quando se iniciam as primeiras chuvas, as fossas sépticas são “lavadas” pelas águas provenientes dos telhados. Assim, a fossa séptica começa a acumular novamente matéria orgânica e libera uma carga orgânica menor. Quando chegam as épocas de verão, o período de chuvas cessa e as fossas começam a liberar novamente matéria orgânica em concentrações mais elevadas.

Observando-se o ANEXO III, pode-se constatar que a média das concentrações de  $DBO_5$  para o ponto A apresenta valores mais elevados para os meses de verão do que para os meses de inverno, o que confirma a suposição anterior.

Ainda observando-se as Tabelas 5.7 a 5.10, pode-se também notar que a maior parte da matéria orgânica é removida na primeira lagoa, sendo que a segunda recebe uma carga orgânica menor e, ainda assim, apresenta uma remoção inferior a da primeira.

Isso ocorre porque na primeira lagoa ocorre a decomposição da matéria facilmente biodegradável. Já na segunda lagoa, está a fração de degradação lenta. A matéria facilmente biodegradável constitui a maior parte dos esgotos.

Além disso, a remoção de DBO processa-se segundo uma reação de primeira ordem, na qual a taxa de reação é diretamente proporcional à concentração do substrato. Sendo assim, como a lagoa primária possui uma concentração maior de DBO, a taxa de remoção de matéria orgânica nessa lagoa é mais elevada.

## 5.7 Equações $L_s = f(T)$ estabelecidas neste estudo

Na Tabela 5.12, constam as taxas de aplicação superficial calculadas para a lagoa primária, secundária, e para o sistema, em função da temperatura do ar.

As Figuras 33, 34 e 35 apresentam, respectivamente, os gráficos utilizados para equacionar a taxa de aplicação superficial com a temperatura do ar, para a lagoa primária, para a lagoa secundária e para o sistema.

No eixo X, aparece a temperatura do ar e no eixo Y as taxas de aplicação superficial.

Estes gráficos também apresentam as retas traçadas pelo autor, que representam a relação entre a taxa de aplicação superficial e a temperatura do ar. Nos gráficos também são apresentadas as equações que representam as retas e que são as equações  $L_s = f(T)$  estabelecidas.

Tabela 5.12 - Cargas orgânicas e taxa de aplicação superficial em função da temperatura do ar (para uma vazão média diária de 6,11l/s)

Temp ar (°C)	Carga orgânica afluente	Carga orgânica em B	Carga orgânica efluente	Ls lagoa primária	Ls lagoa secundária	Ls Sistema	R (%) A/B	R (%) B/C	R (%) A/C
3	51,21	7,92	4,75	133,21	9,78	42,87	84,54	40,00	90,72
4	118,78	23,76	11,09	309,00	29,33	99,45	80,00	53,33	90,67
5	224,89	15,84	14,25	585,03	19,55	188,28	92,96	10,00	93,66
6	71,62	17,95	9,15	186,31	22,16	59,96	74,94	49,02	87,22
7	71,27	20,32	11,09	185,40	25,09	59,67	71,48	45,45	84,44
8	88,91	30,64	15,69	231,31	37,83	74,44	65,54	48,81	82,36
9	86,43	26,53	11,05	224,83	32,75	72,36	69,30	58,36	87,22
10	92,56	26,54	15,22	240,79	32,77	77,49	71,32	42,65	83,56
11	88,54	28,55	9,50	230,34	35,25	74,13	67,75	66,72	89,27
12	83,53	24,85	13,42	217,31	30,68	69,94	70,25	45,98	83,93
13	95,91	25,70	12,87	249,51	31,73	80,30	73,20	49,94	86,58
14	91,36	23,26	11,87	237,67	28,72	76,49	74,54	48,98	87,01
15	95,97	26,05	14,15	249,65	32,16	80,35	72,86	45,69	85,26
16	81,31	28,27	17,88	211,52	34,90	68,08	65,23	36,77	78,02
17	99,08	29,02	15,84	257,75	35,83	82,95	70,71	45,42	84,02
18	99,08	26,55	15,09	257,74	32,77	82,95	73,21	43,16	84,77
19	95,87	26,01	15,56	249,39	32,12	80,26	72,86	40,20	83,77
20	92,42	30,31	16,70	240,43	37,42	77,38	67,20	44,91	81,93
21	104,87	32,44	17,54	272,81	40,05	87,80	69,06	45,92	83,27
22	94,55	27,11	16,42	245,97	33,46	79,16	71,33	39,42	82,63
23	111,46	32,10	19,12	289,96	39,63	93,32	71,20	40,44	82,85
24	104,35	24,88	14,85	271,47	30,72	87,37	76,16	40,31	85,77
25	121,19	30,06	18,22	315,28	37,11	101,47	75,20	39,37	84,96

26	96,66	27,80	17,25	251,47	34,33	80,93	71,24	37,96	82,15
27	108,27	27,43	16,95	281,65	33,87	90,64	74,66	38,20	84,34
28	106,40	29,91	18,89	276,80	36,93	89,08	71,89	36,84	82,24
29	120,60	38,47	21,67	313,74	47,50	100,97	68,10	43,68	82,03
30	111,74	27,91	21,96	290,69	34,46	93,55	75,02	21,32	80,34
31	125,82	38,36	20,76	327,31	47,36	105,34	69,51	45,87	83,50
32	103,79	30,17	15,80	270,02	37,25	86,90	70,93	47,64	84,78
33	135,87	34,31	23,47	353,47	42,36	113,76	74,75	31,60	82,73
34	160,78	36,84	22,17	418,25	45,48	134,61	77,09	39,81	86,21
35	102,94	19,31	12,37	267,80	23,83	86,19	81,25	35,94	87,99
36	146,05	49,27	32,03	379,95	60,83	122,28	66,27	35,00	78,07
37	79,19	19,53	9,50	206,00	24,11	66,30	75,33	51,35	88,00
38	116,14	39,59	39,59	302,13	48,88	97,24	65,91	0,00	65,91
						Média =	72,85	41,28	84,23

Obs: carga orgânica (kgDBO<sub>5</sub>/dia)

Ls = taxa de aplicação superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia)

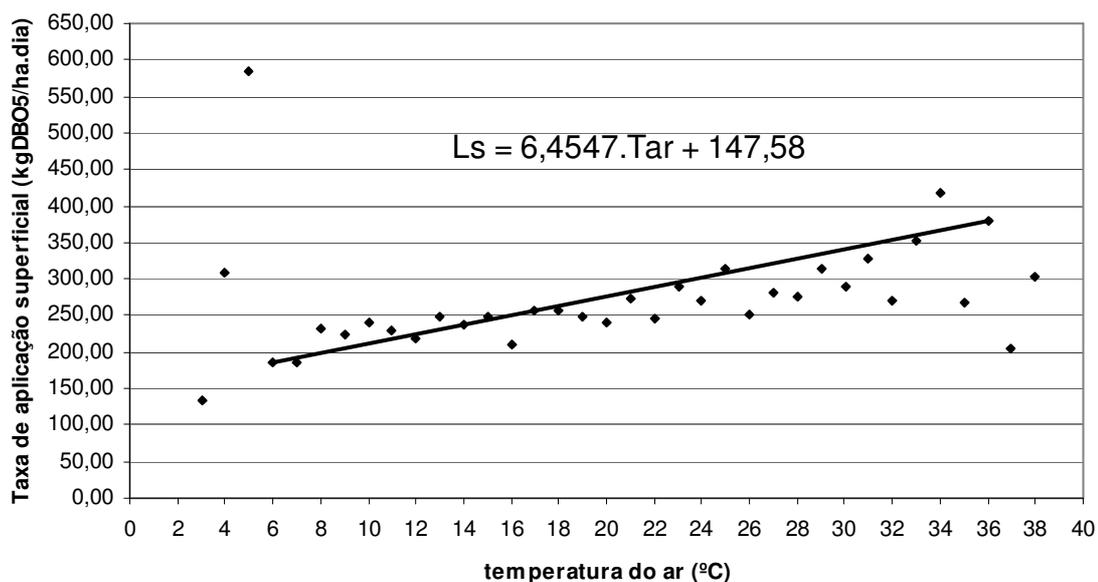


Figura 33 -Taxa de aplicação superficial na lagoa primária em função da temperatura do ar

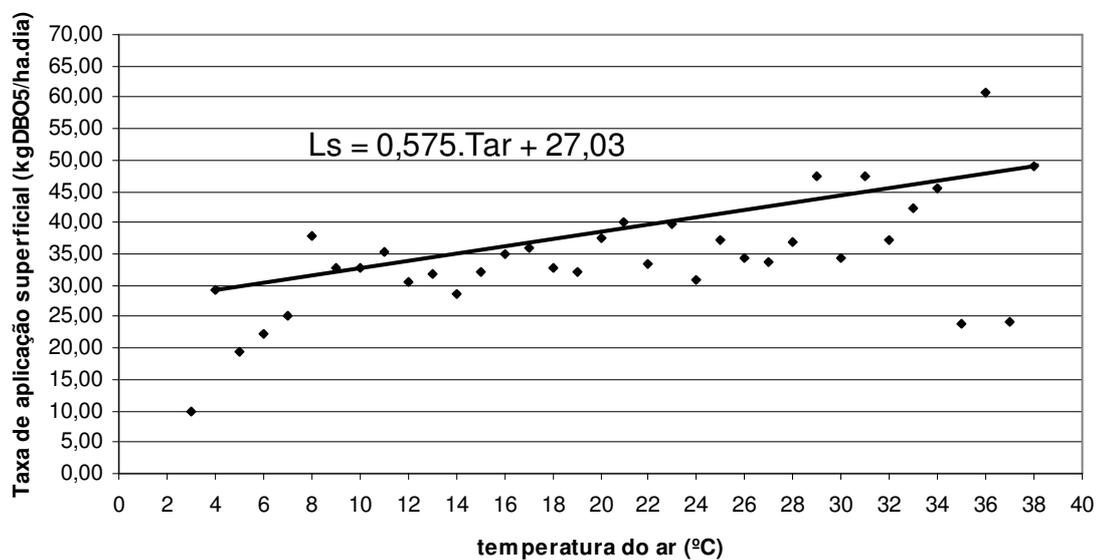


Figura 34 - Taxa de aplicação superficial na lagoa secundária em função da temperatura do ar

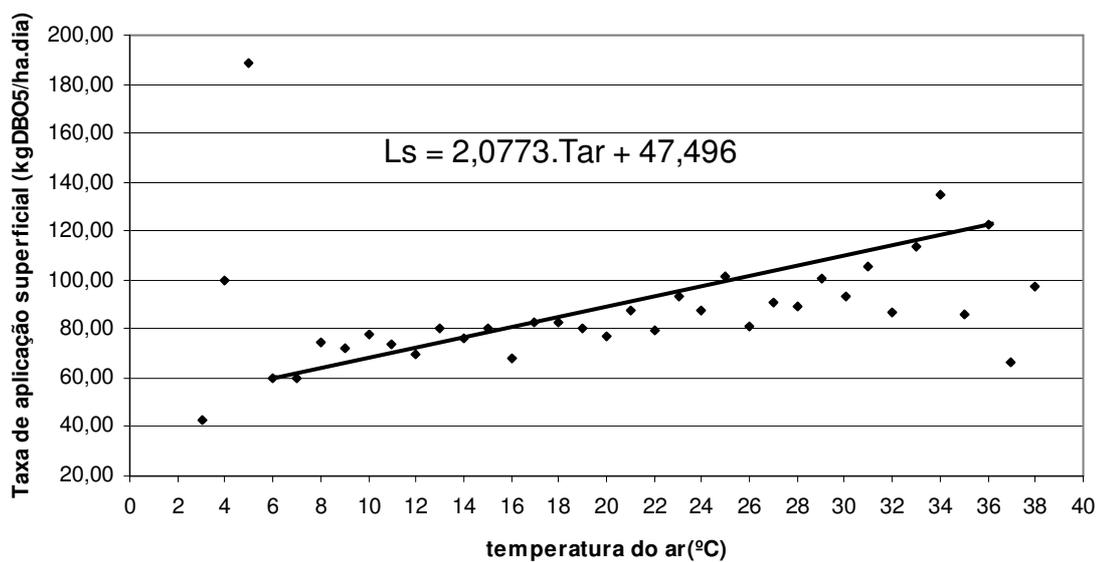


Figura 35 - Taxa de aplicação superficial no sistema em função da temperatura do ar

As equações  $L_s = f(T)$  obtidas são as seguintes:

$$\text{Lagoa primária: } L_s = 6,4547.Tar + 147,55 \quad (5.4)$$

$$\text{Lagoa secundária: } L_s = 0,575.Tar + 27,03 \quad (5.5)$$

$$\text{Sistema de lagoas: } L_s = 2,0773.Tar + 47,496 \quad (5.6)$$

Como a eficiência média de remoção de matéria orgânica da lagoa primária é de 72,85%, pode-se dizer que equação 5.4 garante uma eficiência média de 72,85%. É importante ressaltar que a menor eficiência da lagoa primária foi de 65,23%, conforme observado na Tabela 5.12. Essa equação é válida para temperaturas entre 6°C a 36°C.

Como a eficiência média de remoção de matéria orgânica da lagoa secundária é de 41,28%, pode-se afirmar que a equação 5.5 garante uma eficiência média de 41,28%. Esta equação é válida para temperaturas entre 4°C a 38°C;

Por fim, como a eficiência média de remoção de matéria orgânica do sistema é de 84,23%, pode-se afirmar que a equação 5.6 garante uma eficiência média de 84,23%. Esta equação é válida para temperaturas entre 6°C e 36°C.

Se essas equações forem comparadas com as demais existentes na literatura, a única das três que pode apresentar certa vantagem é a equação estabelecida para a lagoa primária.

A equação 5.5, estabelecida para a lagoa secundária, garante uma eficiência muito baixa. A equação 5.6, estabelecida para o sistema, retorna garante uma eficiência elevada, porém não permite que altas cargas orgânicas sejam lançadas por unidade de área.

A equação 5.4, para lagoas primárias, garante uma eficiência relativamente boa e admite que grandes cargas orgânicas sejam lançadas por unidade de área. Assim esta equação deve ser comparada com as demais existentes na literatura.

A Tabela 5.13 faz um comparativo entre as máximas cargas de aplicação superficial obtidas pelas equações já encontradas na literatura e as obtidas pela equação proposta neste trabalho para a lagoa primária.

Tabela 5.13 - Comparação entre as cargas máximas determinadas pelas equações

$$L_s = f(T)$$

Temperatura do ar (°C)	Klüsener (2006) Para lagoas primárias	McGarry&Pescod (1970)	Mara (1976)	Arthur (1983)	Marks (1993)	OMS (1993)	Yanez (1986)
6	186,31	106,37	--	60,00	30,00	--	106,43
7	192,76	116,93	--	80,00	50,00	--	117,00
8	199,22	128,54	--	100,00	70,00	--	128,62
9	205,67	141,31	--	120,00	90,00	--	141,39
10	212,13	155,34	--	140,00	110,00	100,00	155,43
11	218,58	170,76	--	160,00	130,00	110,00	170,87
12	225,04	187,72	--	180,00	150,00	120,00	187,84
13	231,49	206,36	--	200,00	170,00	130,00	206,49
14	237,95	226,85	--	220,00	190,00	140,00	226,99
15	244,40	249,38	180,00	240,00	210,00	150,00	249,23
16	250,86	274,14	200,00	260,00	230,00	160,00	274,31
17	257,31	301,36	220,00	280,00	250,00	170,00	301,55
18	263,76	331,29	240,00	300,00	270,00	180,00	331,50
19	270,22	364,19	260,00	320,00	290,00	190,00	364,41
20	276,67	400,35	280,00	340,00	310,00	200,00	400,60
21	283,13	440,11	300,00	360,00	330,00	215,31	440,38
22	289,58	483,81	320,00	380,00	350,00	230,81	484,11
23	296,04	--	340,00	400,00	370,00	247,43	532,18
24	302,49	--	360,00	420,00	390,00	265,24	585,03
25	308,95	--	380,00	440,00	410,00	284,34	643,12
26	315,40	--	400,00	460,00	430,00	304,81	706,98
27	321,86	--	420,00	480,00	450,00	326,76	777,19
28	328,31	--	440,00	500,00	470,00	350,29	854,36
29	334,77	--	460,00	520,00	490,00	375,51	939,20
30	341,22	--	480,00	540,00	510,00	402,54	1032,46
31	347,68	--	--	560,00	530,00	431,53	--
32	354,13	--	--	580,00	550,00	462,60	--
33	360,59	--	--	600,00	570,00	495,90	--
34	367,04	--	--	620,00	590,00	531,61	--
35	373,49	--	--	640,00	610,00	569,89	--
36	379,95	--	--	660,00	630,00	610,92	--

Analisando-se a Tabela 5.13, percebe-se que a equação proposta neste trabalho para lagoas primárias retorna taxas de aplicação superficial maiores que as demais equações da literatura, para o intervalo de 6° a 15°C. Ou seja, para este intervalo de temperatura, a equação proposta neste trabalho permite que seja lançada uma maior carga orgânica por unidade de área.

Supondo-se uma população de 4984 pessoas, com uma contribuição individual de 54gDBO<sub>5</sub>/hab.dia, que gera uma carga orgânica diária de 269,136kgDBO<sub>5</sub>/dia, tem-se na Tabela 5.14 uma comparação entre as áreas obtidas pelas equações já encontradas na literatura e as áreas obtidas pela equação proposta neste trabalho.

Tabela 5.14 - Comparação entre as áreas geradas pelas equações  $L_S = f(T)$ , para uma população de 4984 habitantes com uma contribuição individual de 54gDBO<sub>5</sub>/hab.dia

Temperatura do ar (°C)	Klüsener (2006) Para lagoas primárias (ha)	McGarry&Pescod (1970) (ha)	Mara (1976) (ha)	Arthur (1983) (ha)	Marks (1993) (ha)	OMS (1993) (ha)	Yanez (1986) (ha)
6	1,44	2,53	--	4,49	8,97	--	2,53
7	1,40	2,30	--	3,36	5,38	--	2,30
8	1,35	2,09	--	2,69	3,84	--	2,09
9	1,31	1,90	--	2,24	2,99	--	1,90
10	1,27	1,73	--	1,92	2,45	2,69	1,73
11	1,23	1,58	--	1,68	2,07	2,45	1,58
12	1,20	1,43	--	1,50	1,79	2,24	1,43
13	1,16	1,30	--	1,35	1,58	2,07	1,30
14	1,13	1,19	--	1,22	1,42	1,92	1,19
15	1,10	1,08	1,50	1,12	1,28	1,79	1,08
16	1,07	0,98	1,35	1,04	1,17	1,68	0,98
17	1,05	0,89	1,22	0,96	1,08	1,58	0,89
18	1,02	0,81	1,12	0,90	1,00	1,50	0,81
19	1,00	0,74	1,04	0,84	0,93	1,42	0,74
20	0,97	0,67	0,96	0,79	0,87	1,35	0,67
21	0,95	0,61	0,90	0,75	0,82	1,28	0,61
22	0,93	0,56	0,84	0,71	0,77	1,22	0,56
23	0,91	--	0,79	0,67	0,73	1,17	0,51
24	0,89	--	0,75	0,64	0,69	1,12	0,46
25	0,87	--	0,71	0,61	0,66	1,08	0,42
26	0,85	--	0,67	0,59	0,63	1,04	0,38
27	0,84	--	0,64	0,56	0,60	1,00	0,35
28	0,82	--	0,61	0,54	0,57	0,96	0,32
29	0,80	--	0,59	0,52	0,55	0,93	0,29
30	0,79	--	0,56	0,50	0,53	0,90	0,26
31	0,77	--	--	0,48	0,51	0,87	--
32	0,76	--	--	0,46	0,49	0,84	--
33	0,75	--	--	0,45	0,47	0,82	--
34	0,73	--	--	0,43	0,46	0,79	--
35	0,72	--	--	0,42	0,44	0,77	--
36	0,71	--	--	0,41	0,43	0,75	--

Carga Orgânica = 269,136kgDBO<sub>5</sub>/dia

Da Tabela 5.14, constata-se que a equação estabelecida neste trabalho leva a lagoas facultativas primárias com áreas menores do que as dimensionadas pelas demais equações para locais com a temperatura média do mês mais frio entre 6°C e 15°C. Para locais com a temperatura média do mês mais frio superiores a 15°C, a maioria das demais equações fornecem áreas menores.

Relacionando-se as áreas obtidas com a equação proposta neste trabalho com as demais equações da literatura, tem-se na Tabela 5.15 um comparativo percentual da área gerada pela equação proposta neste trabalho, com a área gerada pelas equações da literatura.

Tabela 5.15 - Relação percentual entre as áreas obtidas entre as equações da literatura e a equação proposta neste trabalho

Temperatura do ar (°C)	McGarry&Pescod (1970) (%)	Mara (1976) (%)	Arthur (1983) (%)	Marks (1993) (%)	OMS (1993) (%)	Yanez (1986) (%)
6	75,15	--	210,51	521,03	--	75,04
7	64,85	--	140,95	285,53	--	64,75
8	54,98	--	99,22	184,60	--	54,89
9	45,55	--	71,39	128,52	--	45,46
10	36,56	--	51,52	92,84	112,13	36,47
11	28,00	--	36,61	68,14	98,71	27,92
12	19,88	--	25,02	50,02	87,53	19,80
13	12,18	--	15,75	36,17	78,07	12,11
14	4,89	--	8,16	25,23	69,96	4,82
15	-2,00	35,78	1,83	16,38	62,93	-2,06
16	-8,49	25,43	-3,52	9,07	56,78	-8,55
17	-14,62	16,96	-8,10	2,92	51,36	-14,67
18	-20,38	9,90	-12,08	-2,31	46,54	-20,43
19	-25,80	3,93	-15,56	-6,82	42,22	-25,85
20	-30,89	-1,19	-18,63	-10,75	38,34	-30,94
21	-35,67	-5,62	-21,35	-14,20	34,82	-35,71
22	-40,14	-9,51	-23,79	-17,26	31,63	-40,18
23	--	-12,93	-25,99	-19,99	28,71	-44,37
24	--	-15,97	-27,98	-22,44	26,04	-48,29
25	--	-18,70	-29,78	-24,65	23,58	-51,96
26	--	-21,15	-31,43	-26,65	21,31	-55,39
27	--	-23,37	-32,95	-28,48	19,21	-58,59
28	--	-25,38	-34,34	-30,15	17,25	-61,57
29	--	-27,22	-35,62	-31,68	15,44	-64,36
30	--	-28,91	-36,81	-33,09	13,74	-66,95
31	--	--	-37,92	-34,40	12,15	--
32	--	--	-38,94	-35,61	10,67	--
33	--	--	-39,90	-36,74	9,27	--
34	--	--	-40,80	-37,79	7,95	--
35	--	--	-41,64	-38,77	6,71	--
36	--	--	-42,43	-39,69	5,54	--

Observando-se a Tabela 5.15, nota-se que para a temperatura de 15° a equação proposta por McGarry & Pescod e Arthur são as que praticamente se igualam a área gerada pela equação proposta neste trabalho. Ainda para a temperatura de 15 °C, a equação de Mara gera lagoas com áreas 35% maiores que a equação proposta pelo autor. A equação de Marks gera lagoas com áreas 16,38% maiores e por fim a equação proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS) gera lagoas com áreas 62,93% maiores.

Considerando que os maiores custos dos sistemas de lagoas de facultativas são os relacionados com a desapropriação de áreas privadas para implantação das lagoas, e com a movimentação de terra, pode-se dizer que a equação proposta neste trabalho tem grande importância e sua utilização para dimensionamento pode significar uma redução grande de investimentos.

De uma maneira geral, observando-se as Tabelas 5.12 5.13 e 5.14, conclui-se que a equação estabelecida neste trabalho leva a lagoas facultativas primárias com áreas menores do que as dimensionadas pelas demais equações para locais com a temperatura média do mês mais frio entre 6°C e 15°C. Para locais com a temperatura média do mês mais frio superiores a 15°C, a maioria das demais equações fornecem áreas menores.

A equação proposta neste trabalho, para o dimensionamento de lagoas primárias, fornece a garantia de uma eficiência média de 72,85% de remoção de matéria orgânica, pois essa foi a eficiência média da lagoa primária. Assim, só é aconselhado usar esta equação para projetar lagoas em locais onde o corpo receptor tenha condições de absorver a carga orgânica remanescente.

Esta equação é ideal para locais de clima semelhante ao clima de Rosário do Sul, onde a temperatura média do mês mais frio se situa justamente no intervalo de 6° a 15°C.

## 6 CONCLUSÕES

As correlações entre a temperatura do ar e a temperatura do esgoto, obtidas para os três pontos do sistema, são:

$$- \text{Tpto A} = 0,6022.T_{ar} + 7,7268 \quad R^2 = 0,7806 \quad (\text{equação 5.1})$$

$$- \text{Tpto B} = 0,8517.T_{ar} + 2,877 \quad R^2 = 0,9186 \quad (\text{equação 5.2})$$

$$- \text{Tpto C} = 0,8544.T_{ar} + 2,8074 \quad R^2 = 0,9122 \quad (\text{equação 5.3})$$

Essas equações podem ser muito úteis quando se deseja utilizar uma das equações de dimensionamento de lagoas que leva em consideração a temperatura do esgoto, e não dispomos desta informação. A partir das equações acima pode-se estimar a temperatura do esgoto sabendo-se apenas a temperatura média do ar.

Como era a princípio esperado, os parâmetros de OD, pH e sulfetos, aumentaram com o aumento da temperatura do ar e também aumentaram ao longo do sistema.

Não se observou aumento de remoção de sólidos sedimentáveis, mas sim, um aumento da remoção de sólidos suspensos com o aumento de temperatura.

Não foi possível notar um aumento da vazão com o aumento da temperatura do ar, mas observou-se, claramente, que em dias de tempo instável e chuvoso há uma maior vazão afluyente a ETE, devido a sua rede coletora ser do tipo unitária. Entretanto, observou-se que a vazão média afluyente a ETE aumentou ao longo das horas do dia, das 6 horas da manhã até as 18 horas. A vazão média calculada para o sistema, foi de 6,11l/s, que foi a vazão utilizada para compor as cargas afluentes ao sistema.

Quanto às concentrações de DBO, só foi possível observar aumento de remoção de matéria orgânica, quando foi realizada a média das concentrações para intervalos de temperatura superiores a 10°C. Mesmo assim, só se observou aumento de eficiência na lagoa primária.

As maiores concentrações de matéria orgânica ocorreram nas temperaturas mais elevadas, e mesmo assim, a lagoa primária manteve a remoção em torno dos 72,85%, a secundária em torno dos 41,28% e o sistema em torno dos 84,23%.

Ficou claro que a lagoa primária é onde ocorre a maior decomposição de matéria orgânica, pois nela está presente a matéria facilmente biodegradável.

As equações  $L_s = f(T)$  obtidas são:

- Lagoa primária:  $L_s = 6,4547.Tar+147,55$  (equação 5.4)
- Lagoa secundária:  $L_s = 0,575.Tar+27,03$  (equação 5.5)
- Sistema de lagoas:  $L_s = 2,0773.Tar+47,496$  (equação 5.6)

A equação proposta neste trabalho, para o dimensionamento de lagoas primárias, gera lagoas com áreas menores do que as calculadas pelas demais fórmulas, para locais com a temperatura média do mês mais frio entre 6°C e 15°C. Entretanto, essa equação garante uma eficiência média de 72,85%. Assim, só é aconselhado usar esta equação para projetar lagoas em locais onde o corpo receptor tenha condições de absorver a carga orgânica remanescente, ou seja, os 27,15% restantes.

Essa equação é ideal para locais de clima semelhante ao clima de Rosário do Sul, onde a temperatura média do mês mais frio se situa justamente no intervalo de 6° a 15°C.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, para um trabalho futuro, que sejam executadas medições horárias de vazão, e dos parâmetros de  $DBO_5$  e temperatura, durante um longo período de tempo. Somente com um monitoramento contínuo de um sistema de lagoas de estabilização será possível observar um aumento da eficiência com o aumento da temperatura do ar.

Para que outras equação  $L_S = f(T)$  se desenvolvam, é necessário que se colem dados das demais lagoas operantes no estado do Rio Grande do Sul. Com as análises de outras lagoas, pode-se criar novas equações e aperfeiçoar a equação proposta neste trabalho.

É muito interessante que as instituições de ensino estabeleçam vínculos com as diversas companhias prestadoras de serviço público do país, no sentido de aproveitar para efeitos de pesquisa os seus acervos de monitoramento. Assim é possível diminuir os custos da pesquisa científica e disponibilizar parâmetros de projeto de ETEs mais confiáveis.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, Miguel Mansur. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. 192p.

ARTHUR, J. P. **Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries**. Washington: World Bank Technical Paper N° 7,1983. 114p.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. **Esgotos combinados e controle da poluição: estratégias para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2004.160p.

BRANCO, Samuel Murgel. **Hidrobiologia aplicada à Engenharia Sanitária**. São Paulo, v.3: Centro Tecnológico de Saneamento Básico, 1971. p825-975.

BRITO, Evandro Rodrigues de. **Tecnologias adequadas ao tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: ABES, 2004. 144p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. São Paulo, v.5: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 246p.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA DA 5ª REGIÃO. **Normas para Tratamento de água e de esgoto**. Porto Alegre, 1974. 76p.

ELLIS, K. V.; RODRIGUES, P. C. C. **Multiple regression design equations for Stabilization Ponds**. Water Research, v.29, n.11, p. 2509-2519, 1995.

ETHUR, Anaelena B. M.; JACOBI, Luciane F.; ZANINI, Roselaine R. **Estatística: caderno didático**. Santa Maria: Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 56p.

GASI, Tânia Mara Tavares (coord). **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo, v.3: Companhia estadual de Saneamento Ambiental, 1988. 35p.

GLOYNA, Ernest F. **Waste Stabilization Ponds**. Texas, United States of America: College of Engineering, University of Texas, 1971. 92p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento básico 2000**. Rio de Janeiro 2002. 397p.

\_\_\_\_\_. **Síntese de Indicadores Sócios 2004**. Rio de Janeiro, 2005. 359p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 906p.

KAYOMBO, S. Et al. **Diurnal cycles of variation of physical – chemical parameters in waste stabilization ponds**. Water Research, v.1, n.3, p. 287-291, 2002.

KAWAI, Hideo. et al. **Avaliação do desempenho de estações de lagoas de estabilização**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1990. 15p.

KELLNER, Erich. PIRES, Eduardo Cleto. **Lagoas de Estabilização: Projeto e Operação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998. 244p

MARA, D.D; PEARSON H. **Waste Stabilization ponds: Design Manual for Mediterranean Europe**. Leeds, England: University of Leeds and World Health Organization, 1991. 61p.

MARA, D.D; PEARSON H. **Design Manual for Waste Stabilization ponds in Mediterranean Countries**. Leeds, England: Lagoon Technology Internacional Ltda, 1998a. 113p.

MARA, D.D; PEARSON H. **Design Manual for Waste Stabilization ponds India**. Leeds, England: Lagoon Technology Internacional Ltda, 1998b. 125p

MENDONÇA, Sérgio Rolim et al. **Sistemas de Lagunas de Estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío**. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2001. Cap 7.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 3. ed. New York, United States of America: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

NETTO, José M. de Azevedo (coord). **Lagoas de estabilização**. 2.ed. São Paulo: Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas, 1975. 241p.

OSWALD, Willian J. **Stabilization Pond Research and Installation Experiences in California**. In: Symposiun on Waste Stabilization Lagoons, 1960, Kansas City, United States of America. Anais... Kansas City: Public Health Service Water Supply and Pollution Control Activities Region VI, 1960. 10p.

SILVA, Manoel Osvaldo Senra Alvares da. **Análises Físico-Químicas para controle das estações de tratamento de esgotos**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977. 225p.

SILVA, Salomão Anselmo. MARA, David Duncan. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1979. 140p.

TADESSE, I; GREEN, F. B; PUHAKKA, I. A. **Seasonal and diurnal variations of temperature, pH, and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond system treating tannery effluent**. Water Research, v.3, n.38, p. 645-654, 2003.

UEHARA, M. Y.; et al. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1989. 91p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. **Onsite wastewater treatment systems technology fact sheet 7: Stabilization Ponds, FWS Constructed Wetlands, and other Aquatic Systems**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ord/nrmrl/pubs/625r00008/html/tfs7.htm>> .Acesso em: 4 jan. 2006.

VICTORETTI, Benoit Almeida. **Contribuição ao emprego de lagoas de estabilização como processo para a depuração de esgotos domésticos**. São Paulo: Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas, 1973. 131p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte, v. 1: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a. 243p.

\_\_\_\_\_. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Princípios básicos do tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte, v. 2: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 211p.

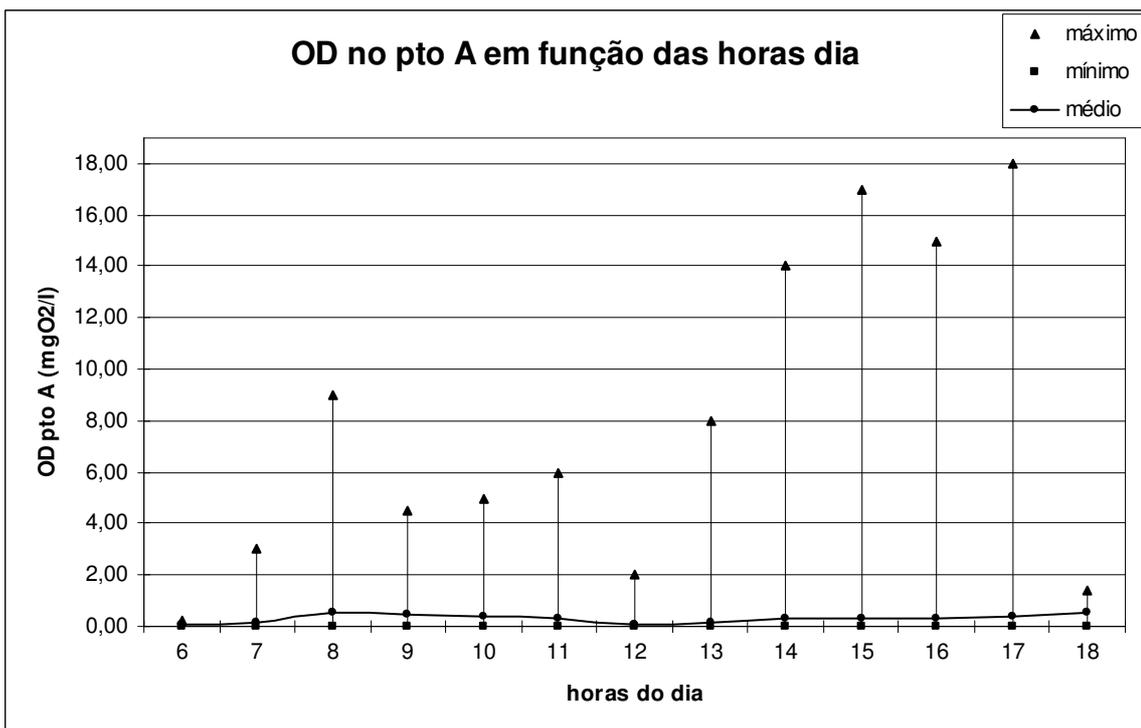
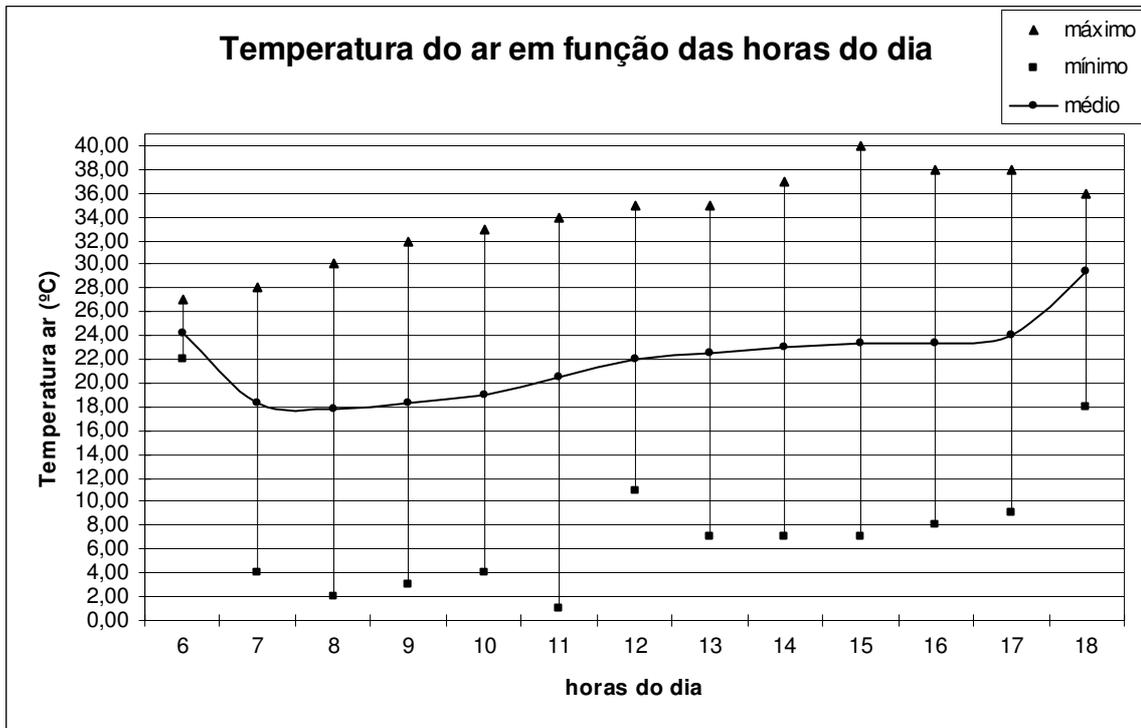
\_\_\_\_\_. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização.** 2.ed. Belo Horizonte, v. 3: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996c. 134p.

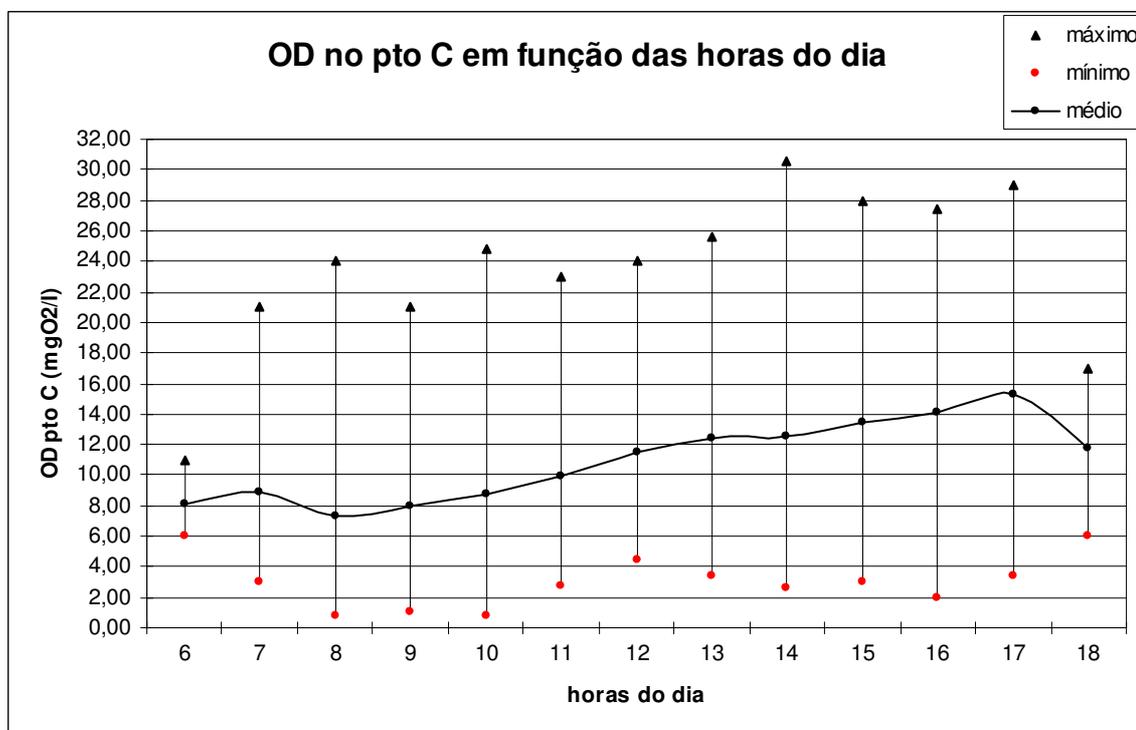
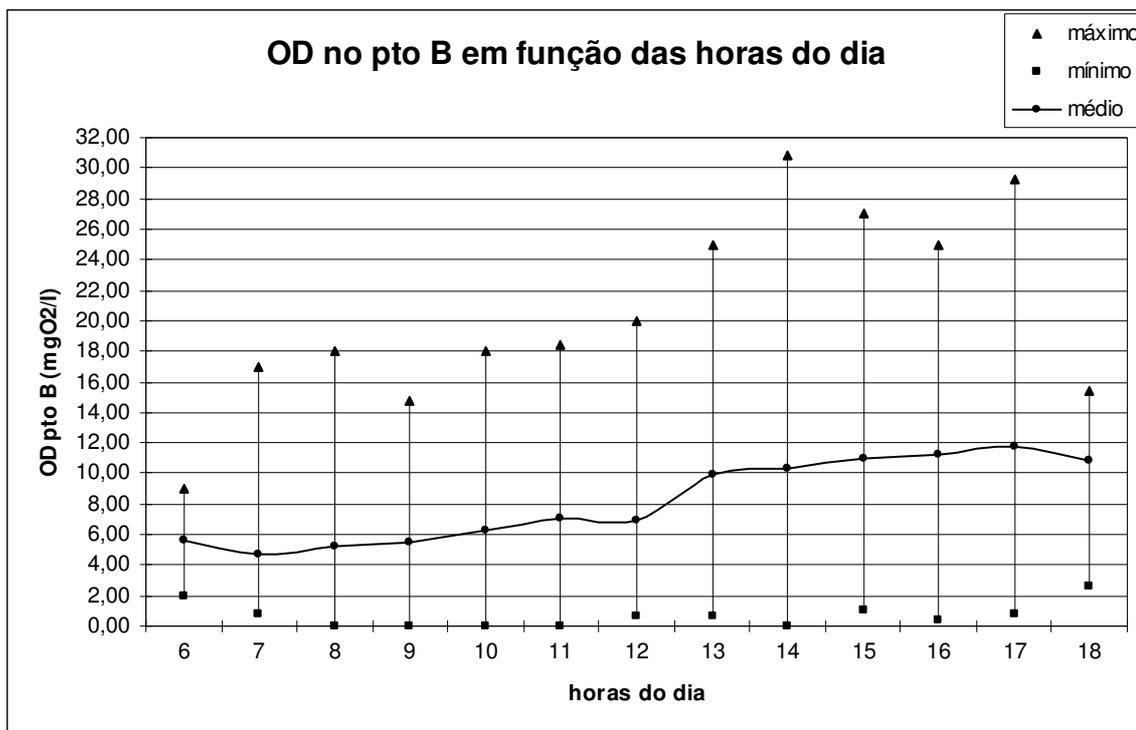
YÁNEZ, Fabián. **Aspectos destacados en la tecnología de lagunas de estabilización.** In: Seminário Internacional Tratamento de Águas Servidas. 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Division de Aguas Servidas – DIASE e Asociación Internacional de Ingeniería Sanitária y Ambiental – AIDIS, 2000. 27p

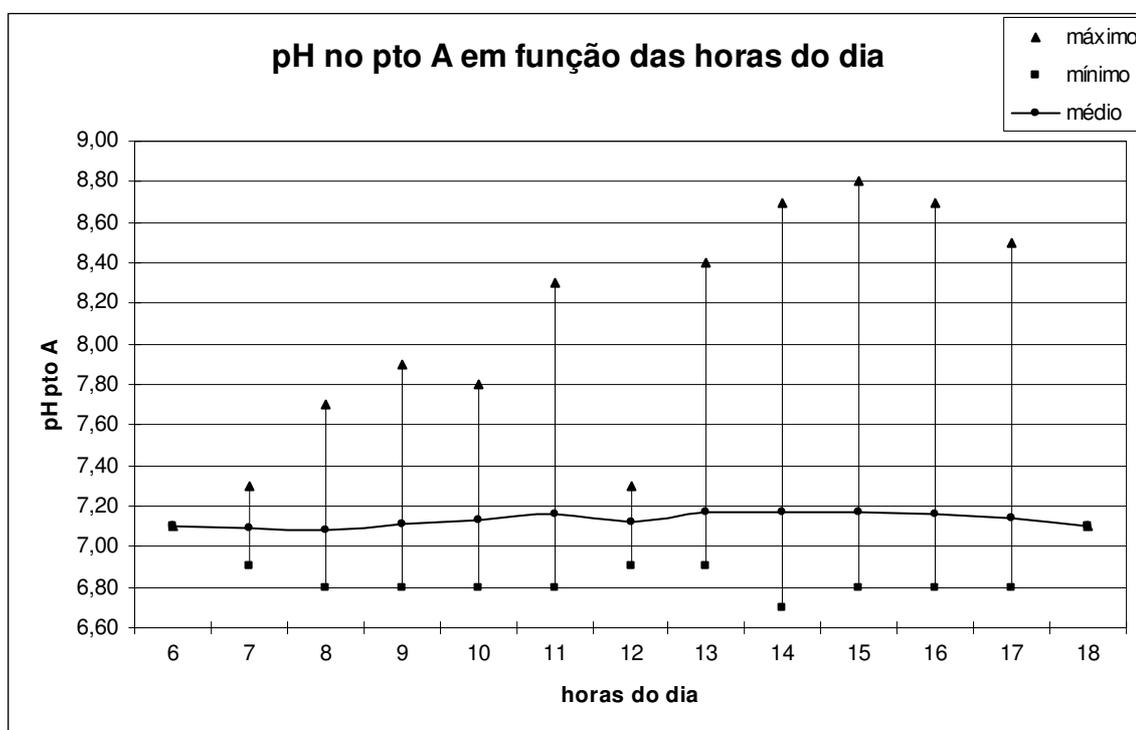
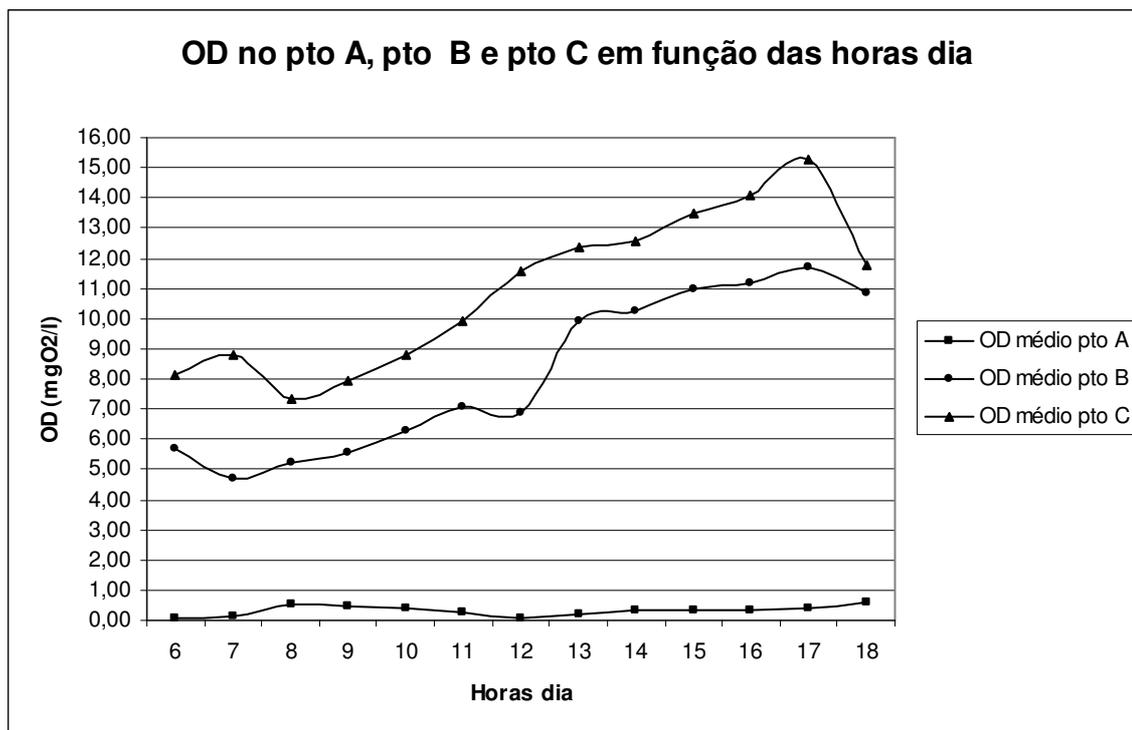
\_\_\_\_\_. **Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo.** In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 19. Santiago, Chile. Anais... Asociación Internacional de Ingeniería Sanitária y Ambiental – AIDIS, 1984. 24p.

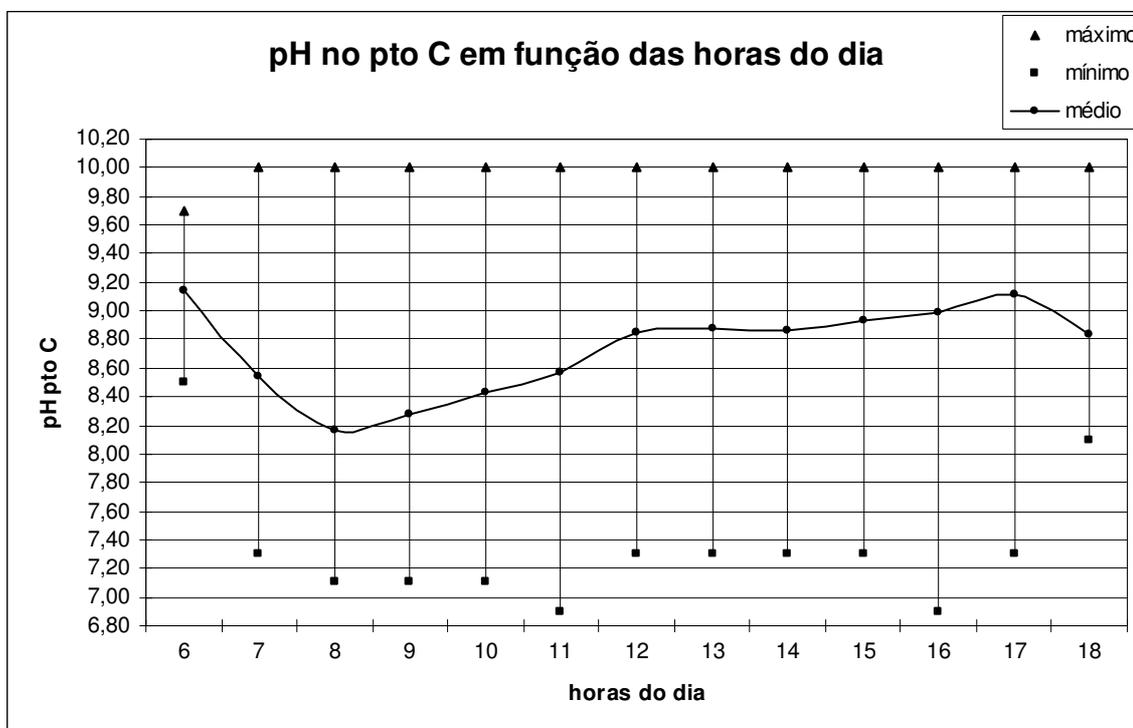
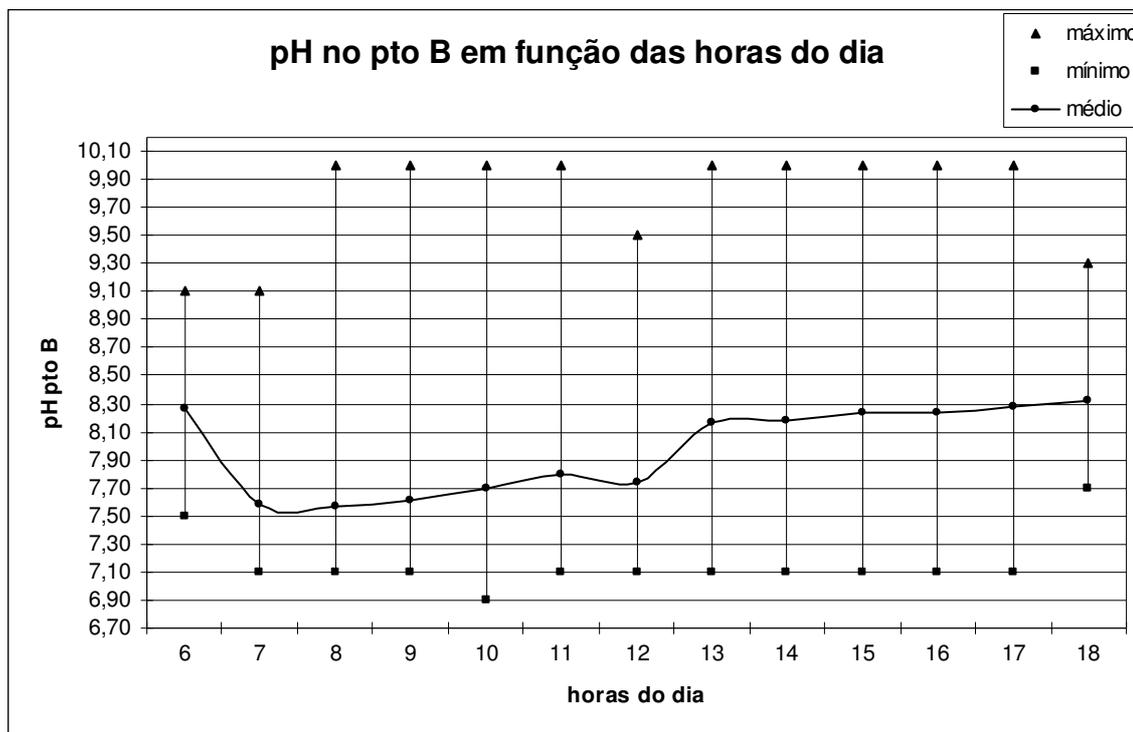
## 9 ANEXOS

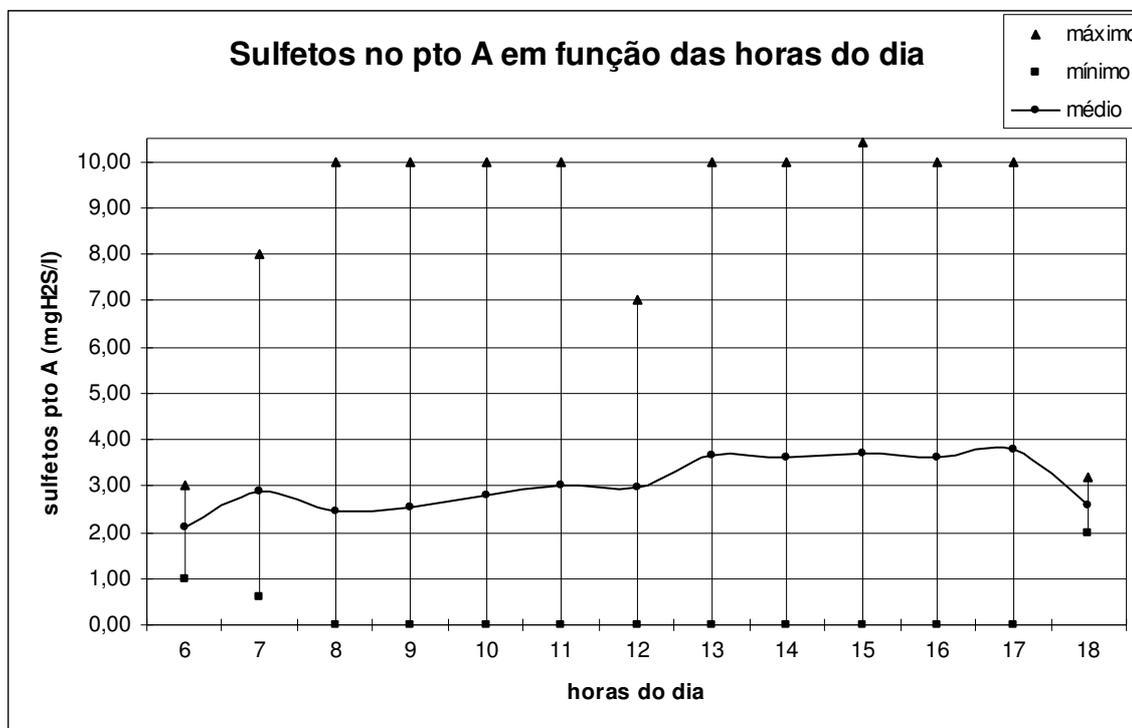
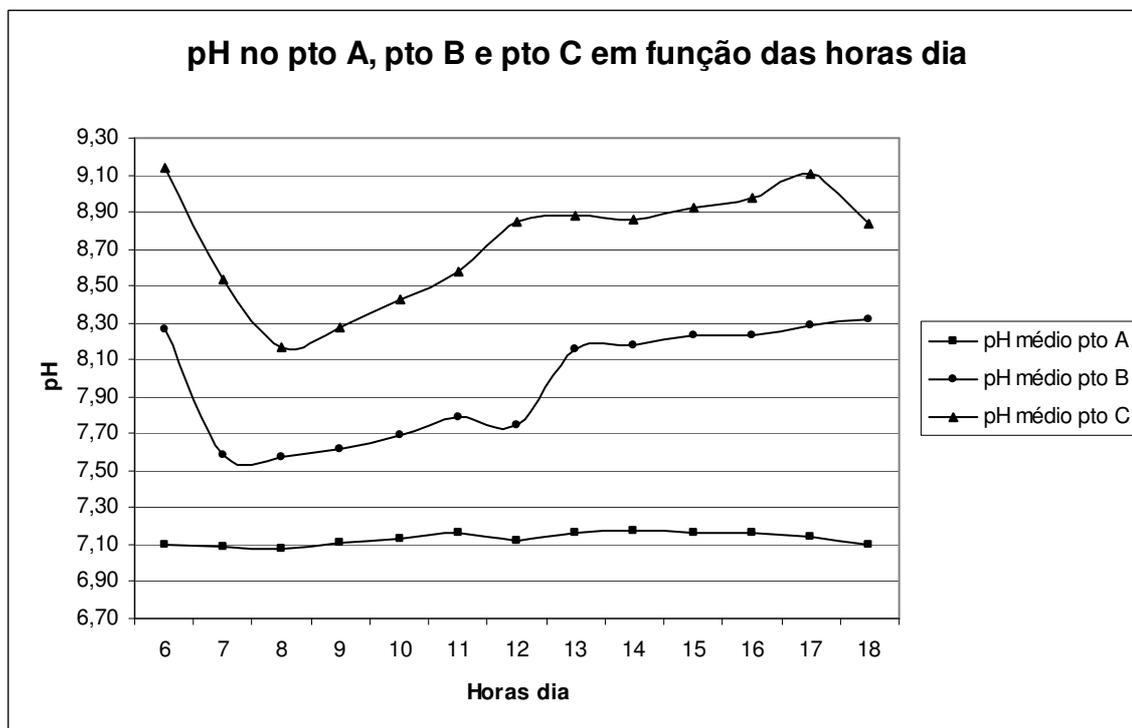
### 9.1 ANEXO I – Variação horária e mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH e Sulfetos (média horária dos parâmetros – máximos e mínimos)

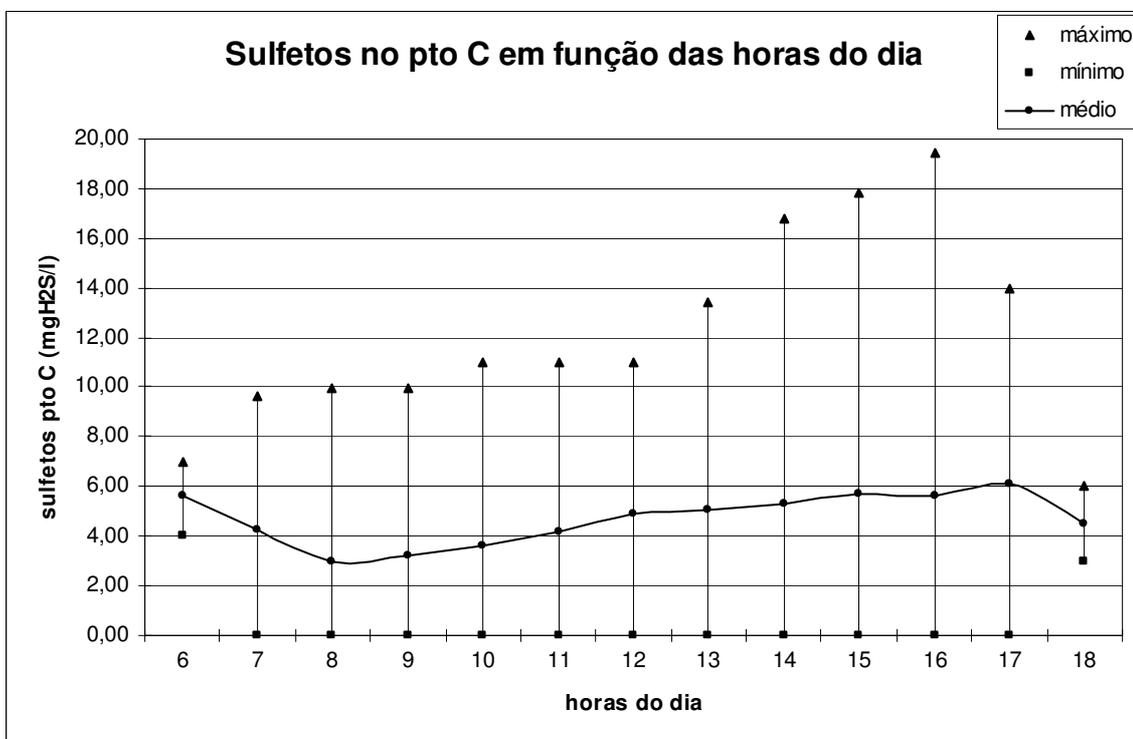
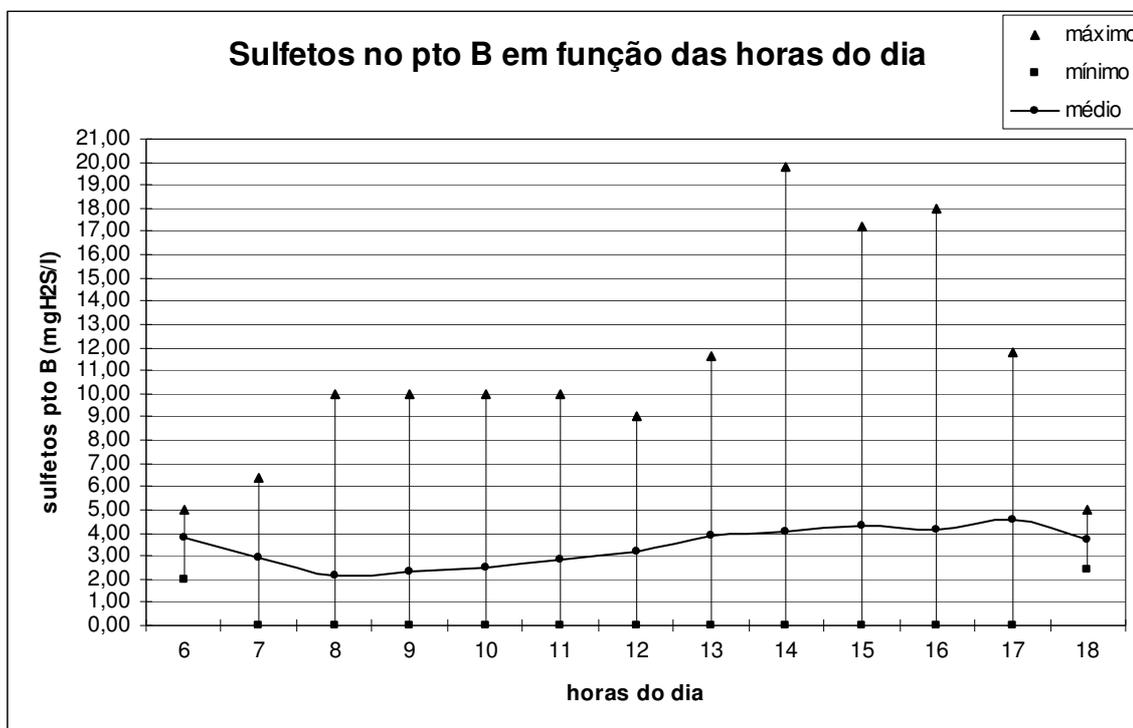


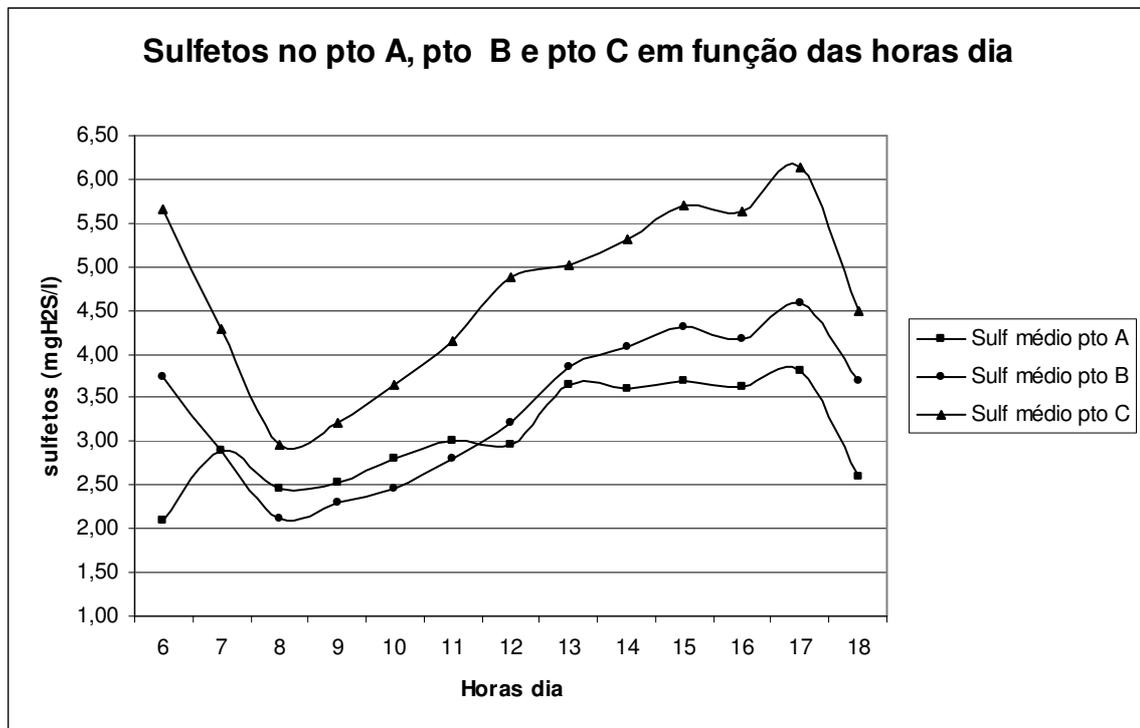




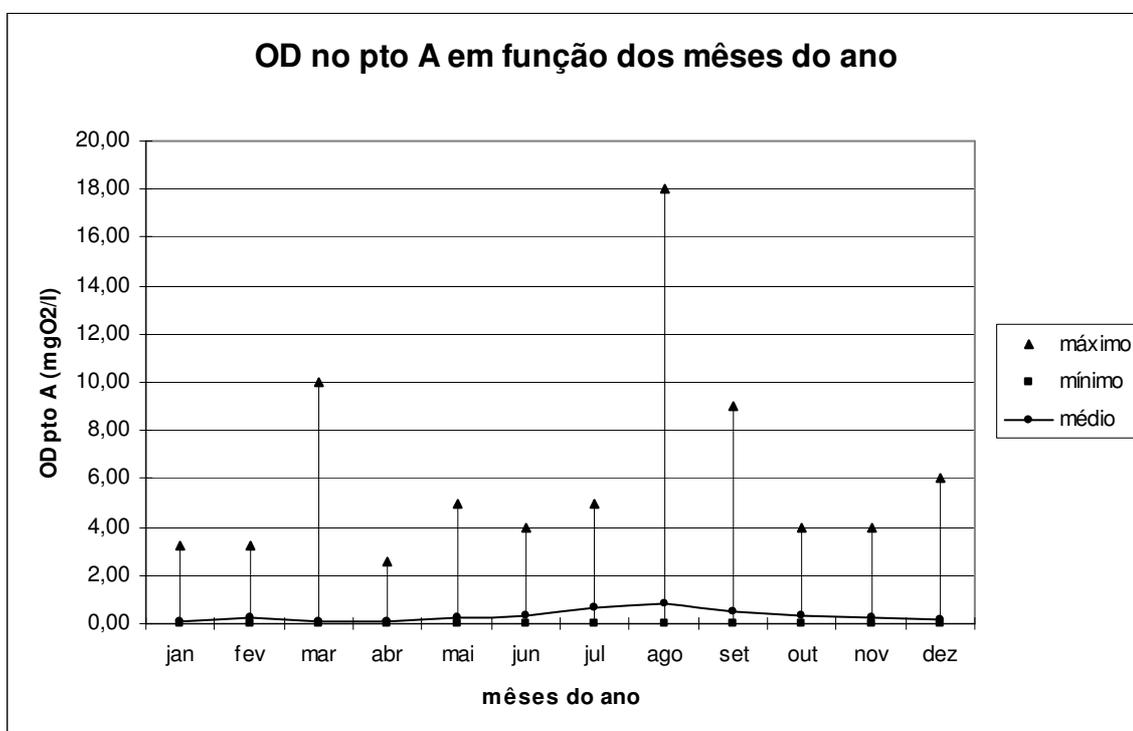
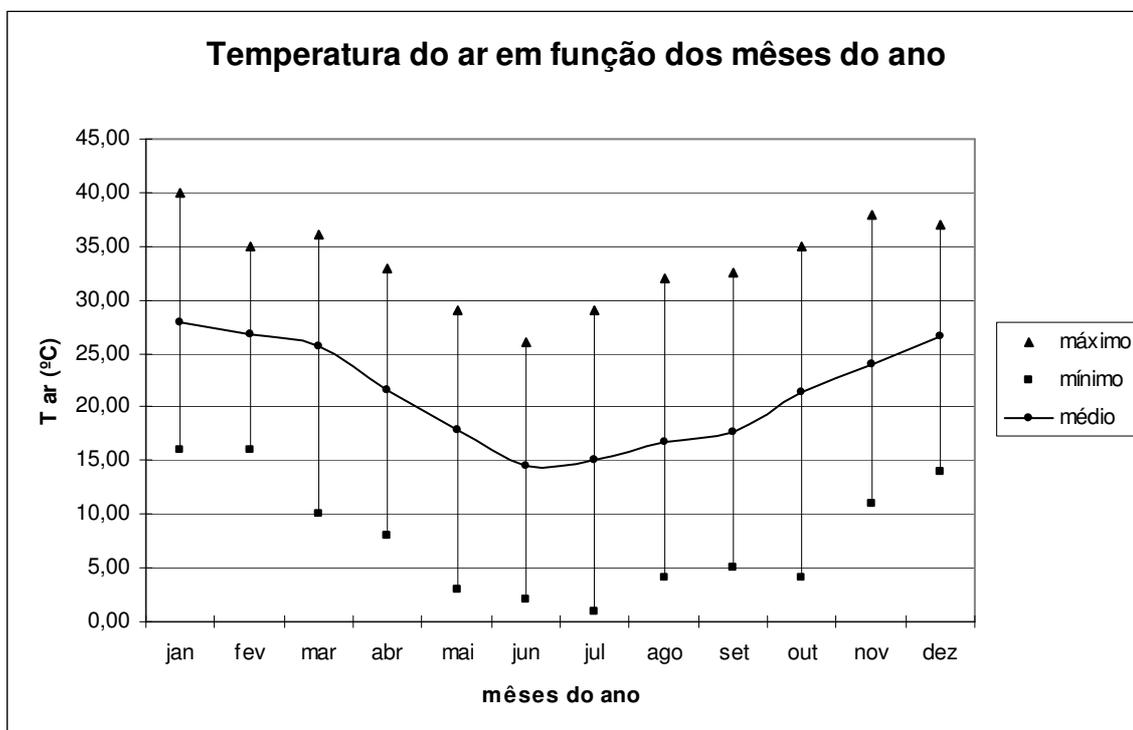


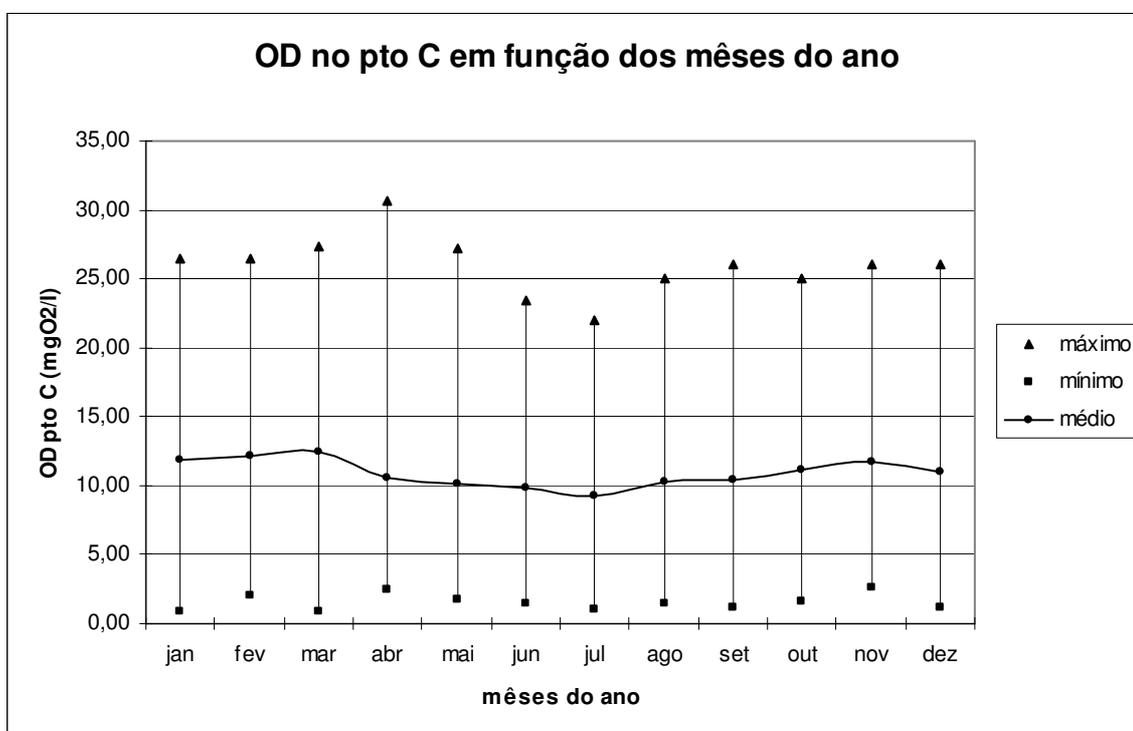
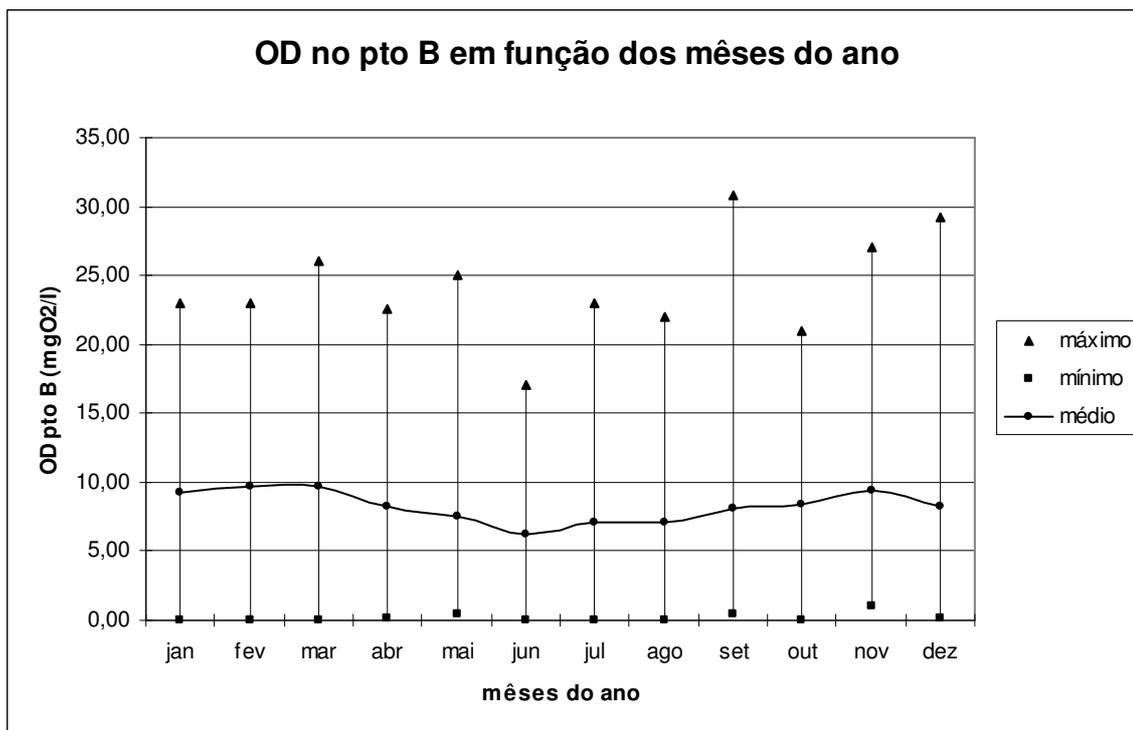


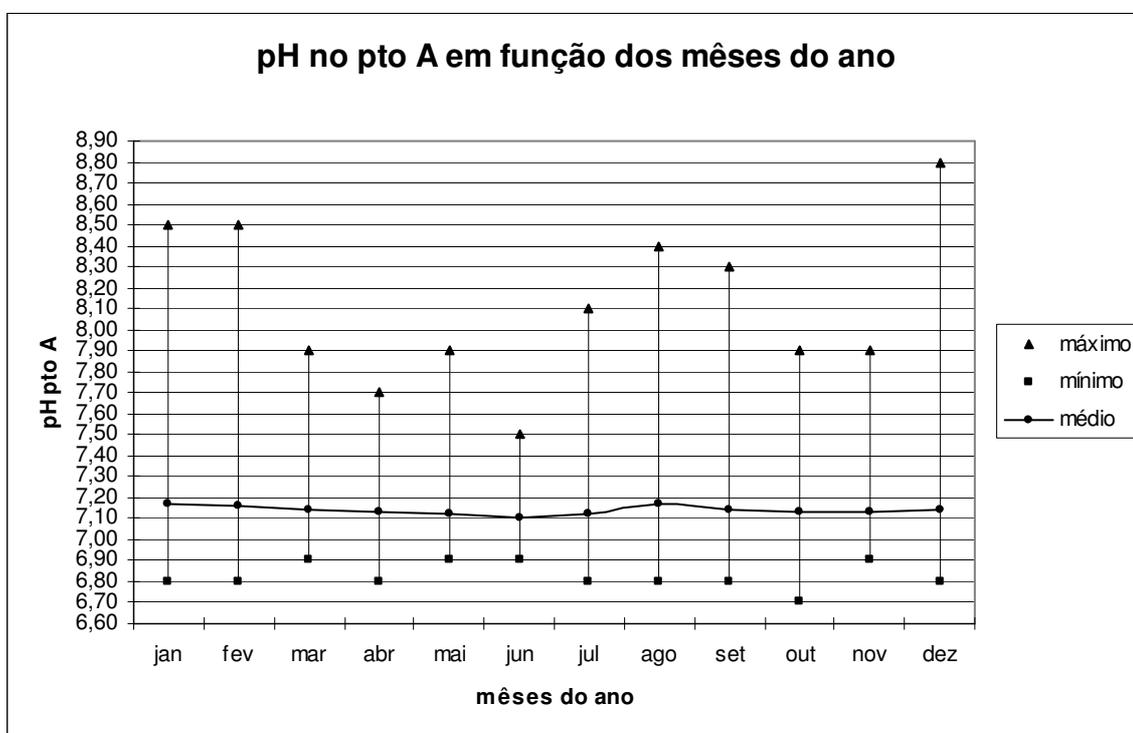
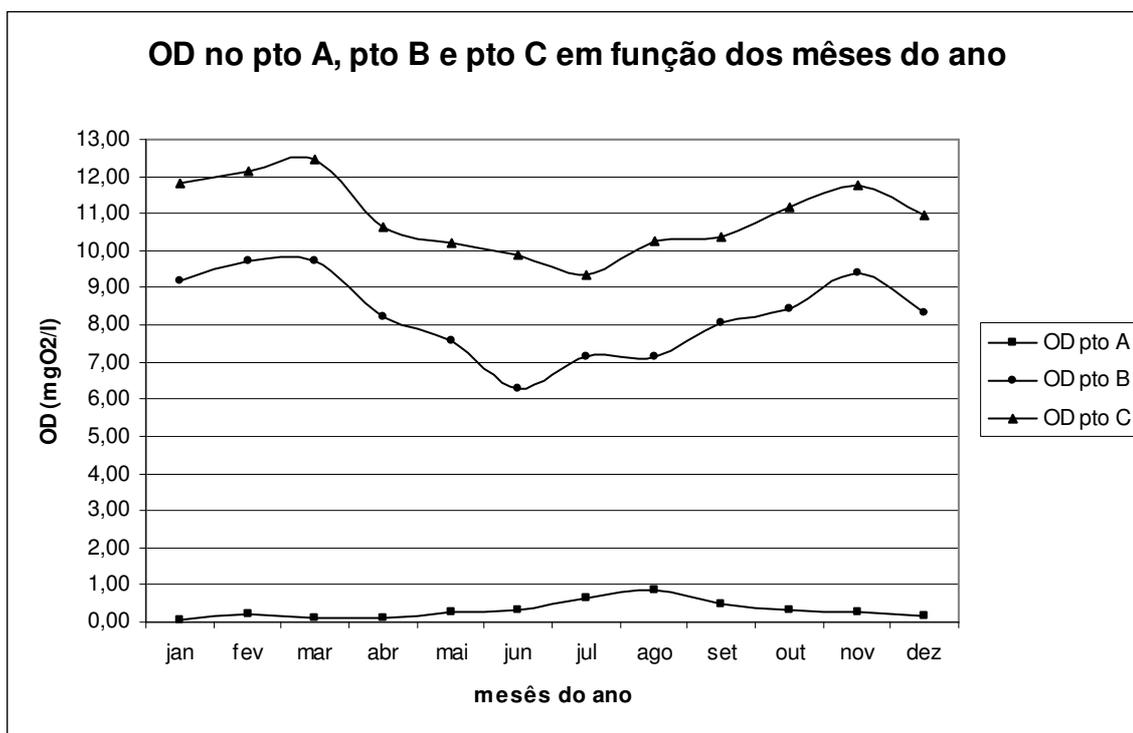


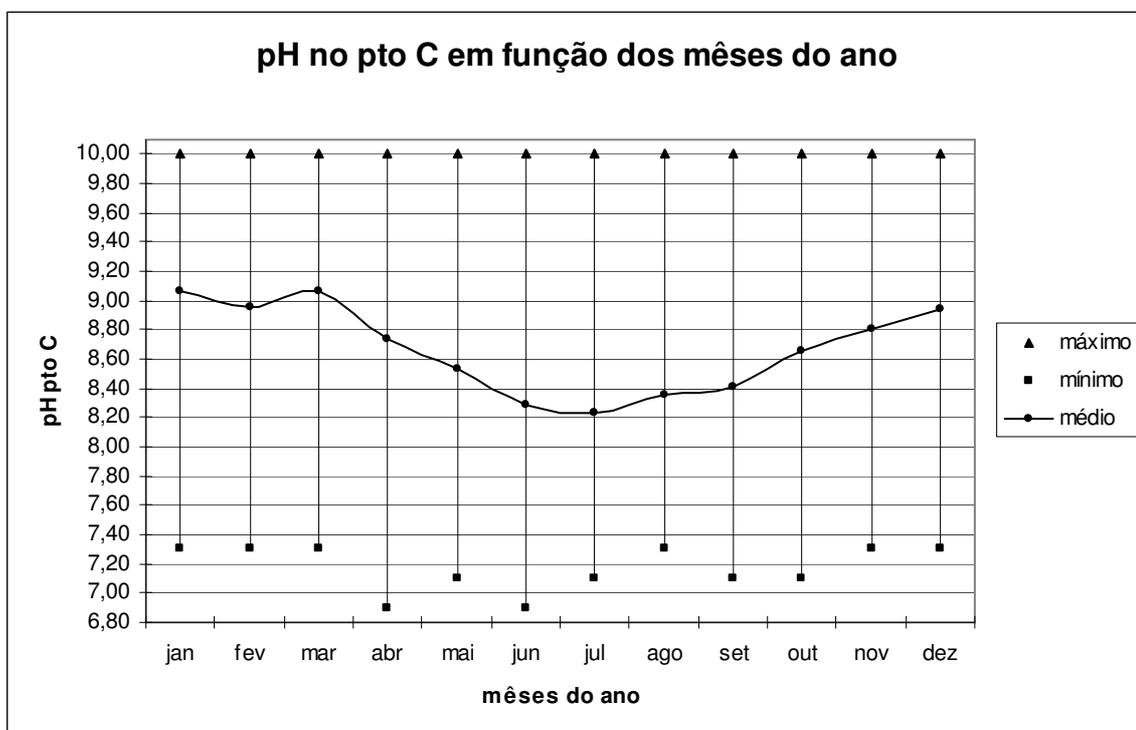
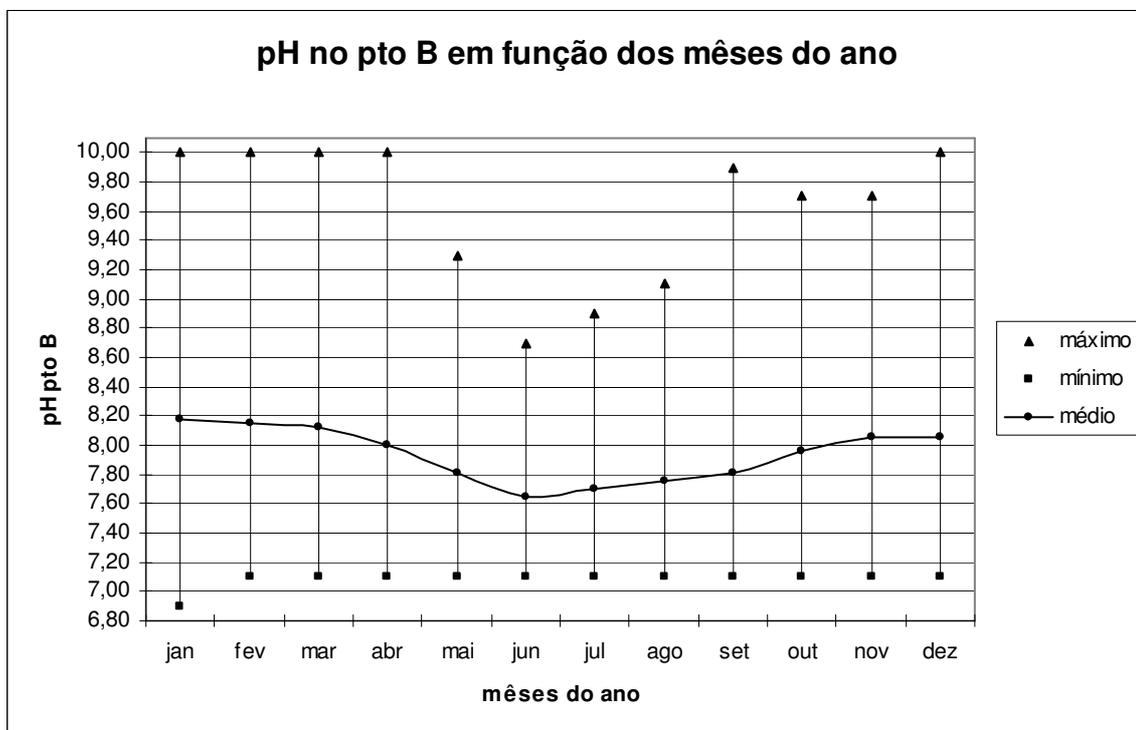


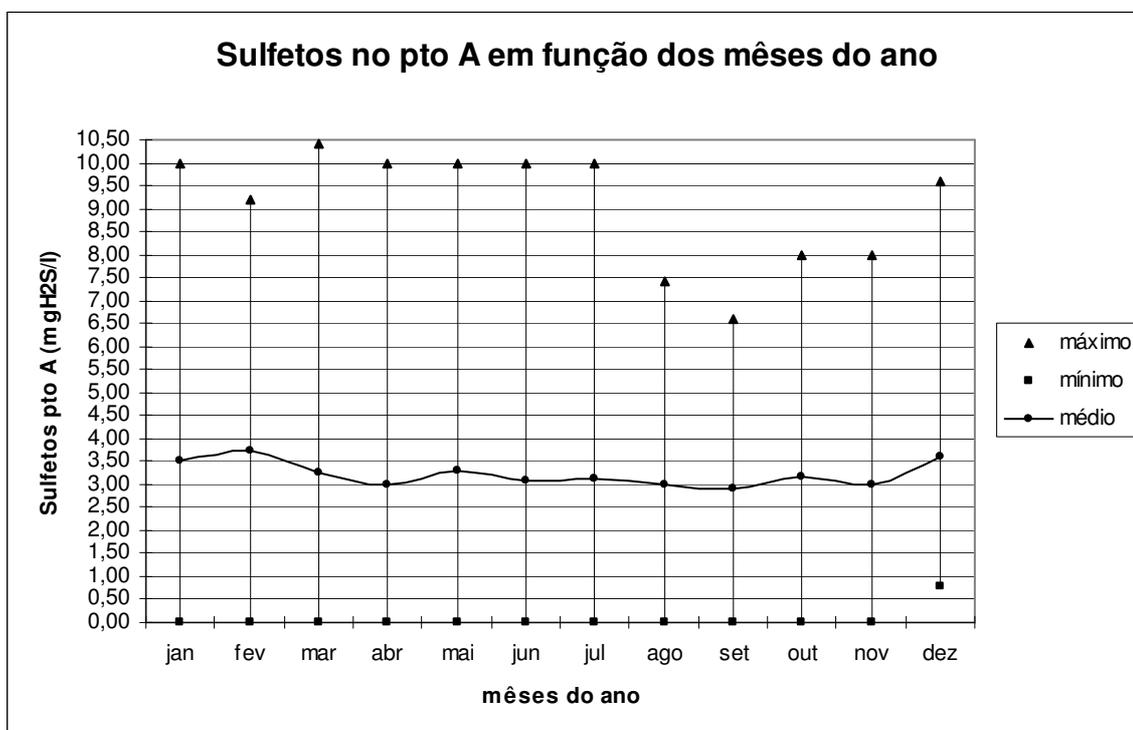
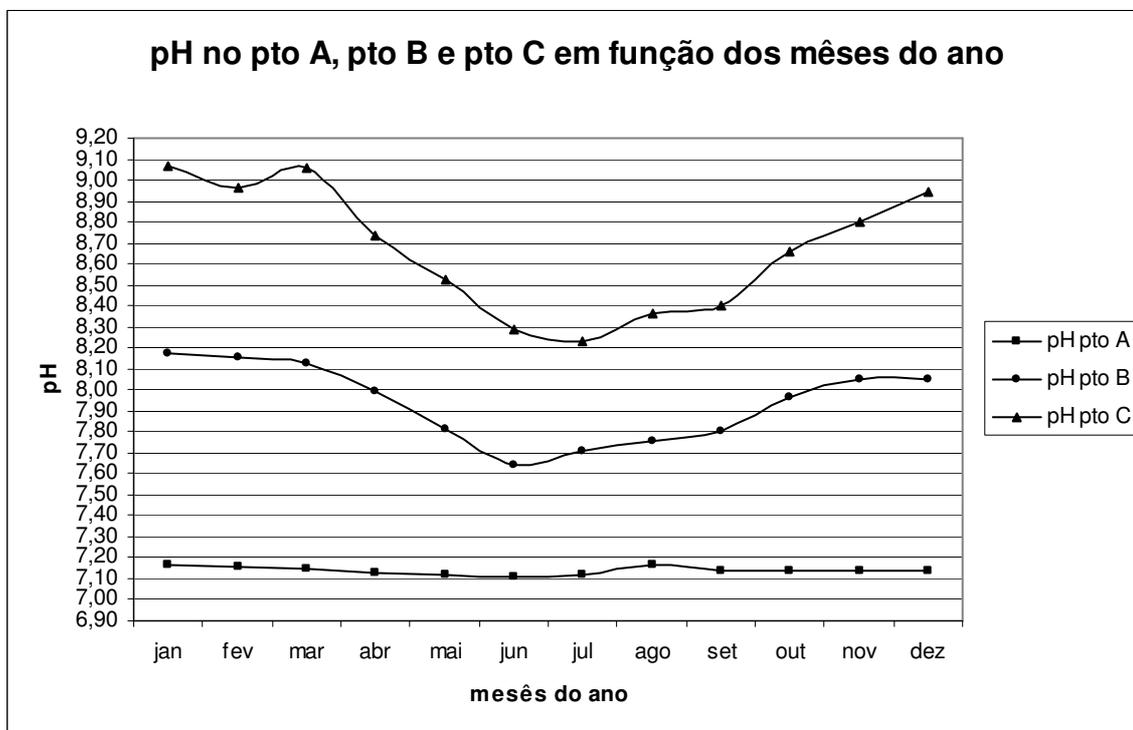
## 9.2 ANEXO II – Variação mensal dos parâmetros de temperatura, OD, pH, e Sulfetos (média mensal dos parâmetros – máximos e mínimos)

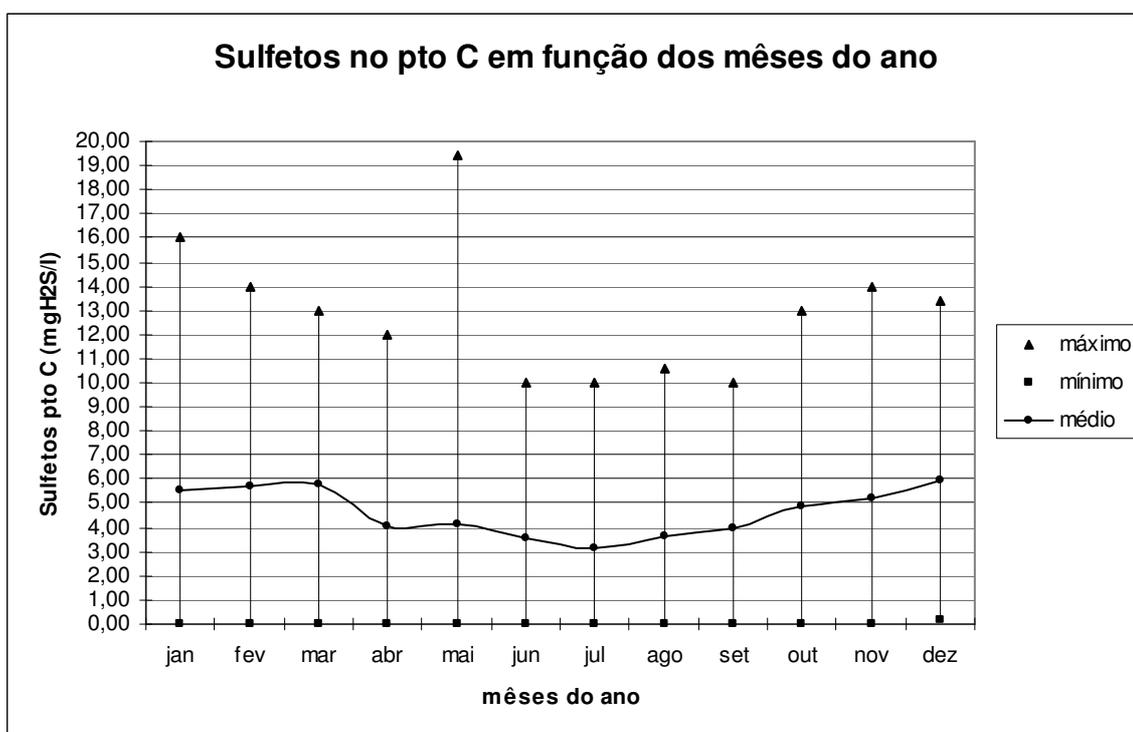
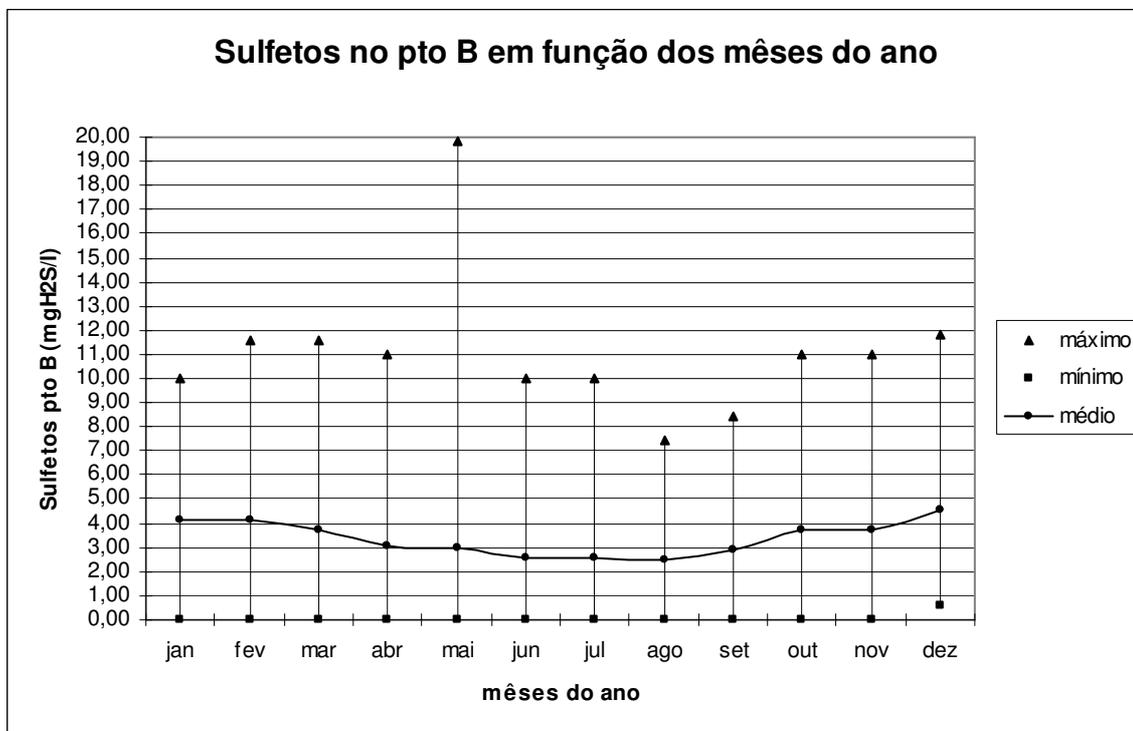


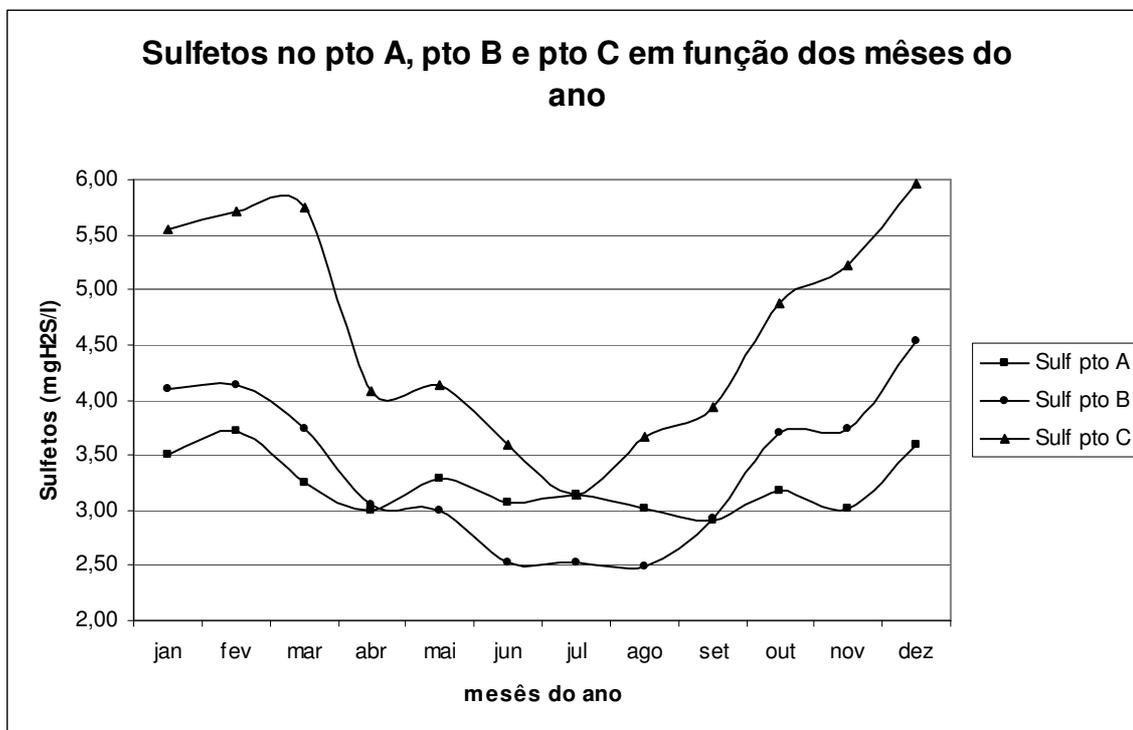












### 9.3 ANEXO III – Tabela de médias mensais dos parâmetros monitorados

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Vazão (l/s)	7,07	7,55	8,41	8,17	7,26	7,67	7,96	7,86	8,38	8,67	8,07	7,00
T ar (°C)	27,87	26,69	25,68	21,64	17,84	14,53	14,99	16,67	17,62	21,39	23,94	26,51
T pto A (°C)	25,86	25,28	24,52	21,67	18,92	16,09	15,85	16,55	17,41	19,61	21,69	24,07
T pto B (°C)	27,25	26,39	25,54	21,63	17,94	14,77	14,83	16,33	17,64	21,12	23,33	25,70
T pto C (°C)	27,34	26,41	25,52	21,65	17,87	14,66	14,78	16,33	17,64	21,15	23,31	25,70
pH pto A	7,17	7,16	7,14	7,13	7,12	7,11	7,12	7,17	7,14	7,14	7,13	7,14
pH pto B	8,17	8,15	8,12	7,99	7,82	7,64	7,70	7,75	7,81	7,96	8,05	8,05
pH pto C	9,07	8,96	9,06	8,73	8,53	8,28	8,23	8,36	8,40	8,66	8,80	8,94
SSed pto A (ml/l)	1,81	1,66	2,12	2,05	1,98	1,65	1,77	1,80	1,97	1,67	1,89	2,17
SSed pto B (ml/l)	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,07	0,09	0,09	0,06	0,03
SSed pto C (ml/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01
R(%) SSed A/B	96,97	96,65	97,78	98,62	97,35	97,63	97,62	95,88	95,18	94,81	96,67	98,46
R(%) SSed B/C	73,21	76,92	78,09	78,02	78,89	55,83	57,74	50,59	72,02	70,05	77,39	60,32
R(%) SSed A/C	99,19	99,23	99,51	99,70	99,44	98,96	99,00	97,96	98,65	98,45	99,25	99,39
SSusp pto A (mg/l)	130,92	130,12	132,79	132,70	115,70	114,23	105,97	110,72	102,91	101,43	114,96	136,30
SSusp pto B (mg/l)	58,71	56,35	59,32	60,23	53,93	57,69	53,66	56,08	49,16	50,47	52,38	60,80
SSusp pto C (mg/l)	52,83	53,46	52,48	56,64	50,08	55,90	50,93	51,92	45,84	44,95	47,01	53,68
R(%) SSusp A/B	55,16	56,70	55,33	54,61	53,39	49,49	49,36	49,35	52,23	50,24	54,43	55,39
R(%) SSusp B/C	10,01	5,12	11,53	5,96	7,14	3,11	5,10	7,41	6,76	10,95	10,26	11,72
R(%) SSusp A/C	59,65	58,91	60,48	57,31	56,72	51,06	51,94	53,11	55,46	55,69	59,11	60,62
Sulf pto A (mgH <sub>2</sub> S/l)	3,50	3,72	3,24	2,99	3,28	3,08	3,14	3,01	2,90	3,18	3,01	3,60
Sulf pto B (mgH <sub>2</sub> S/l)	4,10	4,14	3,74	3,05	3,00	2,53	2,53	2,49	2,92	3,70	3,74	4,53
Sulf pto C (mgH <sub>2</sub> S/l)	5,54	5,72	5,74	4,09	4,13	3,59	3,14	3,67	3,94	4,88	5,22	5,96
OD pto A (mgO <sub>2</sub> /l)	0,07	0,23	0,09	0,10	0,24	0,34	0,67	0,86	0,47	0,33	0,25	0,18
OD pto B (mgO <sub>2</sub> /l)	9,19	9,72	9,73	8,21	7,58	6,26	7,14	7,14	8,07	8,45	9,39	8,31
OD pto C (mgO <sub>2</sub> /l)	11,84	12,14	12,45	10,61	10,18	9,86	9,33	10,24	10,39	11,18	11,75	10,97
DBO pto A (mgO <sub>2</sub> /l)	214,09	195,52	217,29	196,70	169,04	168,05	185,91	193,74	188,97	190,52	190,81	197,85
DBO pto B (mgO <sub>2</sub> /l)	61,51	63,66	62,16	57,57	49,01	44,35	44,63	52,52	54,89	50,43	51,23	58,12
DBO pto C (mgO <sub>2</sub> /l)	39,86	37,69	37,82	31,97	25,62	20,50	23,16	29,34	30,31	30,63	33,75	39,69
R(%) DBO A/B	71,27	67,44	71,39	70,73	71,01	73,61	76,00	72,89	70,95	73,53	73,15	70,62
R(%) DBO B/C	35,20	40,79	39,16	44,47	47,72	53,78	48,10	44,14	44,79	39,27	34,12	31,71
R(%) DBO A/C	81,38	80,72	82,60	83,75	84,84	87,80	87,54	84,86	83,96	83,92	82,31	79,94