**Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública**

**Avaliação da adição de nitrato de amônio para
redução de odor nos esgotos de Pereira Barreto- SP:
reflexos na qualidade da água do reservatório de
Três Irmãos, após dez anos de aplicação**

Teodosia Basile Liliamtis

**Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública
para obtenção de título de Doutor
em Saúde Pública.**

**Área de Concentração: Departamento de
Saúde Ambiental**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Caetano
Sanches Mancuso**

**São Paulo
2007**

**Avaliação da adição de nitrato de amônio para
redução de odor nos esgotos de Pereira Barreto- SP:
reflexos na qualidade da água do reservatório de
Três Irmãos, após dez anos de aplicação**

Teodosia Basile Liliamtis

**Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública
da Faculdade de Saúde Pública
da Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Doutor
em Saúde Pública.**

**Área de Concentração: Departamento de
Saúde Ambiental**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Caetano
Sanches Mancuso**

**São Paulo
2007**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da tese/dissertação.

Agradecimentos

A Deus, por ter me dado saúde e força de vontade para levar a cabo mais esta tarefa.

Ao meu marido Rubens e a minha filha Nathalia, pelo apoio e paciência que disponibilizaram ao longo da realização deste trabalho. Amo muito vocês!

Ao Prof.essor Doutor Pedro Caetano Sanches Mancuso, pela orientação, e especialmente pela confiança e oportunidade dadas, as quais permitiram a concretização de mais uma etapa na minha vida profissional.

Aos examinadores da banca de qualificação: Professor Doutor José Carlos Mierzwa e Professor Doutor Wanderley da Silva Paganini, pelas valiosas sugestões.

À Doutora Célia Regina Pesquero do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública-FSP, pelas sugestões que muito enriqueceram o meu projeto de pesquisa para a FAPESP.

Ao Engenheiro Carlos César Aquino Garcia do Departamento de Serviços de Esgoto da Companhia Energética de São Paulo-CESP, pelas informações e plantas sobre a ETE-Pereira Barreto, e pela disponibilização de equipamento (GPS) e pessoal técnico, que foram fundamentais na execução dos trabalhos de campo.

Ao Topógrafo Osmar Freitas do Departamento de Serviços de Esgoto da CESP, pela inestimável colaboração nas atividades de coleta, e pela elaboração dos mapas de localização da área de estudo e dos pontos de amostragem.

À Técnica Química Maria do Carmo Doria Pereira do Laboratório de Análises Físico-químicas da FSP, pela colaboração nos trabalhos de campo e laboratoriais, além da amizade e convivência muito agradável.

Ao Professor Fábio Rodrigues Piovezani Rocha do Instituto de Química da Universidade de São Paulo-USP, por ter viabilizado a análise de nitrato no laboratório de Química Analítica, e a Wanessa Roberto Melchert pela colaboração nas análises.

Ao Professor Doutor Roy E. Bruns do Instituto de Química da Universidade de Campinas-UNICAMP, pela inestimável ajuda no tratamento estatístico dos dados (análise estatística multivariada).

À Professora Doutora Maria Regina Cardoso do Departamento de Epidemiologia da FSP, pela colaboração na análise estatística não-paramétrica.

À Doutora Solange Martone Rocha do Departamento de Saúde Ambiental da FSP, pelo apoio, disponibilidade, sugestões e revisão no texto, o meu agradecimento especial.

Ao Professor Doutor José Luis Negrão Mucci, pela atenção, sempre muito prestativo, esclarecendo as minhas dúvidas com a maior paciência.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Saúde Ambiental da FSP, pela convivência amigável no decorrer destes 4 anos de doutorado.

Ao Sr. Silvio, responsável pelo Departamento de Transportes da FSP, e aos Motoristas que foram extremamente competentes na sua função.

Às Bibliotecárias da FSP, pelo bom atendimento.

À minha querida amiga Adriana de Souza, pela amizade, carinho, solidariedade, paciência, e por sempre conseguir melhorar meu humor, mesmo nos momentos mais difíceis.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pela concessão do auxílio à pesquisa (processo nº 04/06923-4), que garantiu a viabilidade dos trabalhos de campo desta pesquisa.

À Diretoria da Faculdade de Saúde Pública e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq, pela bolsa de doutorado (processo nº 140630/2005-8) concedida entre 2005 e 2006, que tornou mais fácil atravessar este período.

E, a todos que de uma forma ou de outra apresentaram sua contribuição para a realização deste trabalho.

Resumo

Liliamtis TB. Avaliação da adição de nitrato de amônio para redução de odor nos esgotos de Pereira Barreto- SP: reflexos na qualidade da água do reservatório de Três Irmãos, após dez anos de aplicação [tese de doutorado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 2007.

Avalia a alteração da qualidade da água da região de lançamento dos efluentes domésticos no reservatório de Três Irmãos, em virtude da aplicação de nitrato de amônio, para controle de odor, na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto desde 1996. Foram realizadas 6 campanhas, com frequência bimestral, no período de Outubro de 2004 a Agosto de 2005. As amostras foram coletadas em seis pontos, sendo cinco no reservatório, e um na ETE-Pereira Barreto. Em cada estação no reservatório, as amostras foram tomadas à superfície, à meia profundidade e fundo. Obtiveram-se amostras de água e esgoto para análise de parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos. Para melhor avaliar a qualidade da água, como também do efluente final da ETE, foram efetuados o Teste de Postos com Sinais de Wilcoxon para Pares Combinados (Método Não-Paramétrico), Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento (Cluster). Os resultados mostraram que os níveis de nitrogênio nitrato na água e no efluente final situaram-se bem abaixo do limite máximo estabelecido pelo CONAMA 357/05 para águas da Classe 2 (10 mg/L). Concluiu-se que a prática da adição de nitrato de amônio para reduzir os odores em rede coletoras de esgotos sanitários, sob o ponto de vista ambiental, não

apresentou potencial para acarretar impacto negativo no corpo receptor, e que a região de estudo no reservatório é um ambiente bem oxigenado, inclusive nas camadas mais profundas, com baixos teores de turbidez e pH levemente alcalino, entretanto, com alta condutividade elétrica e elevadas concentrações de nutrientes (fósforo e amônia), principalmente no período de verão. Este fato é devido à influência principalmente do esgoto doméstico que é lançado nesta área.

Palavras-chave: nitrato de amônio, qualidade da água, reservatório de Três Irmãos, redução de odor.

Abstract

Liliamtis TB. Evaluation of the addition of ammonium nitrate to the sewer system in Pereira Barreto- SP, in order to reduce the odor: reflections upon the quality of the water in the Três Irmãos reservoir, after ten years of application (doctorate thesis). São Paulo: College of Public Health-USP, 2007.

It evaluates the alteration of the quality of the water in the region of discharges of domestic effluents into the Três Irmãos reservoir, due to the application, since 1996, of ammonium nitrate into the sewer system of the city of Pereira Barreto. Six trips to collect samples were performed bimonthly between October 2004 and August 2005. The samples were collected at six different points: five in the reservoir and one in the Sewage Treatment Plant in Pereira Barreto. In each station of the reservoir, the samples were collected on the surface, at half depth and at the bottom. Water and sewage samples were obtained for analysis of physical, chemical and hydrobiological parameters. In order to better evaluate the quality of water, as well as the quality of the final effluent from the sewage of the Sewage Treatment Plant, the Wilcoxon Signed-rank Test for Paired Data (Nonparametric Test), the Principal Component Analysis and the Hierarchical Cluster Analysis Methods were performed. The results showed that the levels of nitrate-nitrogen in the water and in the final effluent were way below the maximum limit established by CONAMA 357/05 for Class 2 waters (10 mg/L). It was concluded that, environmentally speaking, the addition of ammonium nitrate to reduce the odors in sanitary sewer systems was not potentially

significant to cause a negative impact on the reservoir. It was also concluded that the region under study in the reservoir is well oxygenated, even in deeper layers, with low turbidity levels and slightly alkaline pH; however, high electrical conductivity and high concentrations of nutrients (phosphorus and ammonia) were observed, mainly in summer. This is mainly due to the influence of the domestic sewage which is discharged in that area.

Key words: ammonium nitrate, quality of the water, Três Irmãos reservoir, reduction of odor.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. O SISTEMA DE ESGOTO- PEREIRA BARRETO/ S. P.	2
1.1.1. Caracterização do Odor Proveniente do Sistema de Esgoto.....	4
1.1.2. Medidas Corretivas Propostas Visando à Redução do Odor.....	5
1.1.3. Solução Escolhida para Eliminação do Odor.....	6
1.1.4. Aplicação do Nitrato de Amônio.....	7
1.1.4.1. Mecanismo de Reação do Nitrato nos Esgotos.....	8
1.2. NITRATO DE AMÔNIO (NH_4NO_3).....	10
1.2.1. Riscos à Saúde.....	11
1.2.2. Processo de Fabricação.....	11
1.3. SITUAÇÃO ATUAL DO RESERVATÓRIO DE TRÊS IRMÃOS- MONITORAMENTO CETESB.....	14
1.4. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) DE TRÊS IRMÃOS.....	17
1.4.1. Clima.....	19
1.4.2. Vegetação.....	19
1.4.3. Geologia.....	20
1.4.4 Geomorfologia.....	20
1.4.5. Solos.....	21
1.4.5.1. Tipos de Solos, Usos e Ocupação.....	21
2. HIPÓTESE.....	23
3. JUSTIFICATIVA.....	23
4. OBJETIVOS.....	24
4.1. OBJETIVO GERAL.....	24
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
5. CONCEITOS E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
5.1. EUTROFIZAÇÃO.....	25
5.2. CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS E RESERVATÓRIOS.....	25
5.3. FATOR LIMITANTE.....	26
5.4. EUTROFIZAÇÃO ANTRÓPICA, CULTURAL OU ACELERADA.....	27
5.5. CAUSAS DA EUTROFIZAÇÃO ACELERADA.....	28
5.6. CONSEQUÊNCIAS DA EUTROFIZAÇÃO.....	30
5.7. MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA O CONTROLE DA EUTROFIZAÇÃO.....	34
6. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
6.1.1. Caracterização da Área no Reservatório de Três Irmãos.....	37
6.1.2. Caracterização do Sistema de Tratamento de Esgotos de Pereira Barreto.....	38
6.2. PROCEDIMENTO DE CAMPO.....	39
6.3. PARÂMETROS ANALISADOS.....	42
6.3.1. Descrição Sucinta dos Métodos Empregados nas Análises.....	43

6.4. ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET).....	45
6.5. TRATAMENTO DOS DADOS.....	46
6.5.1. Estatística Descritiva Básica.....	46
6.5.2. Testes Estatísticos.....	47
7. RESULTADOS.....	49
7.1. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS.....	50
7.1.1. Precipitação Pluviométrica (mm).....	50
7.1.2. Temperatura do Ar (°C).....	50
7.2. CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA DO RESERVATÓRIO.....	51
7.2.1. Profundidade (m).....	51
7.3. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA.....	52
7.3.1. Temperatura da Água (°C).....	52
7.3.2. Oxigênio Dissolvido (mg/L).....	59
7.3.3. pH.....	66
7.3.4. Condutividade Elétrica (µS/cm).....	68
7.3.5. Turbidez (UNT).....	70
7.3.6. Concentrações de Nutrientes.....	72
7.3.6.1. Fósforo Total (mg/L).....	72
7.3.6.2. Nitrogênio Amoniacal (mg/L).....	74
7.3.6.3. Nitrogênio Nitrato (mg/L).....	76
7.4. VARIÁVEIS HIDROBIOLÓGICAS DA ÁGUA	78
7.4.1. Clorofila <i>a</i> (µg/L).....	78
7.5. AVALIAÇÃO DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE- PEREIRA BARRETO QUANTO AO SEU GRAU DE TROFIA.....	80
7.6. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS DE PEREIRA BARRETO.....	82
7.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA- ÁGUA E ESGOTO.....	88
7.7.1. Teste de Wilcoxon.....	88
7.7.1.1. Análise das Características Limnológicas entre as Diferentes Profundidades.....	88
7.7.1.2. Análise das Características Limnológicas entre os Diferentes Pontos Amostrais.....	89
7.7.2. Análise Estatística Multivariada.....	92
7.7.2.1. Análise de Componentes Principais- ACP.....	92
7.7.2.2. Análise de Agrupamento.....	102
8. DISCUSSÃO.....	104
8.1. PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS DA ÁGUA DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE- PEREIRA BARRETO.....	104
8.2. AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DA ÁGUA DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE- PEREIRA BARRETO.....	117
8.3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO EFLUENTE FINAL DA ETE- PEREIRA BARRETO.....	119
9. CONCLUSÕES.....	126
10. REFERÊNCIAS.....	131
ANEXOS.....	141

Lista de Figuras

Figura 1- Vista aérea do município de Pereira Barreto com a localização das estações elevatórias.....	3
Figura 2- Reservatório de nitrato de amônio.....	7
Figura 3- Dosador de nitrato de amônio.....	8
Figura 4- Fluxograma simplificado do processo de fabricação do nitrato de amônio.....	13
Figura 5- Mapa esquemático- Baixo Tietê, mostrando a localização dos pontos monitorados pela CETESB.....	14
Figura 6- Usina Hidrelétrica de Três Irmãos.....	18
Figura 7- Canal de Pereira Barreto.....	18
Figura 8- Imagem do canal por satélite.....	19
Figura 9- Desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados.....	32
Figura 10- Localização da área de estudo.....	38
Figura 11- Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Irmãos (antigo córrego Pederneiras).....	41
Figura 12- Variação da temperatura do ar (°C) nos cinco pontos de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	51
Figura 13- Variação temporal da temperatura da água (°C) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	53
Figura 14- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto B de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	54
Figura 15- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 1 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	55
Figura 16- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 2 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	56
Figura 17- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 3 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	57
Figura 18- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 4 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	58
Figura 19- Teores de oxigênio dissolvido (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite mínimo (L. mín.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.....	60

Figura 20- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto B de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	61
Figura 21- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 1 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	62
Figura 22- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 2 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	63
Figura 23- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 3 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	64
Figura 24- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 4 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	65
Figura 25- Valores de pH nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com os Limites máximo e mínimo (L. máx. e L. mín.) preconizados pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.....	67
Figura 26- Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	69
Figura 27- Valores de turbidez (UNT) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	71
Figura 28- Concentrações de fósforo total (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparadas com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.....	73
Figura 29- Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.....	75
Figura 30- Valores de nitrogênio nítrico (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.....	77
Figura 31- Valores de clorofila a ($\mu\text{g}/\text{L}$) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.....	79

Figura 32- Variações da temperatura do efluente (°C) registradas na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparadas com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.....	83
Figura 33- Valores de condutividade do efluente ($\mu\text{S}/\text{cm}$) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	83
Figura 34- Valores de turbidez do efluente (UNT) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	84
Figura 35- Teores de pH do efluente registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com os Limites máximo e mínimo (L. máx. e L. mín.) estabelecidos pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.....	84
Figura 36- Teores de oxigênio dissolvido do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	85
Figura 37- Teores de fósforo total do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	85
Figura 38- Valores de nitrogênio amoniacal do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.....	86
Figura 39- Valores de nitrogênio nítrico do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	86
Figura 40- Teores de clorofila <i>a</i> do efluente ($\mu\text{g}/\text{L}$) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.....	87
Figura 41- Valores de demanda bioquímica de oxigênio do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo Decreto nº 8.468/1976. ETE de Pereira Barreto.....	87
Figura 42- Distribuição dos pontos das variáveis originais escolhidas (componentes 1 e 2).....	94
Figura 43- Ordenação dos pontos de amostragem para o período de estudo, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.....	95
Figura 44- Ordenação dos pontos de amostragem no reservatório para o período de estudo, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.....	98
Figura 45- Ordenação das três diferentes profundidades de coleta, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.....	100

Figura 46- Ordenação dos meses de coleta, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.....	101
Figura 47- Análise de agrupamento dos meses de amostragem.....	103

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 1- Processo de dehidrogenação.....	9
Quadro 2- Descrição dos pontos de amostragem monitorados pela CETESB-reservatório de Três Irmãos.....	15
Tabela 3- Valores do índice do estado trófico (IET), nos pontos de amostragem monitorados pela CETESB no reservatório de Três Irmãos durante o ano de 2002.....	15
Tabela 4- Classificação do índice do estado trófico utilizada pela CETESB, 2003.....	16
Tabela 5- Parâmetros sanitários- valores médios nos pontos de coleta monitorados pela CETESB, reservatório de Três Irmãos (2002), comparados com os padrões do CONAMA 20/86.....	16
Quadro 6- Elementos essenciais à vida aquática.....	28
Tabela 7- Coordenadas geográficas dos pontos de coleta.....	40
Tabela 8- Classificação do Estado Trófico segundo o Índice de Carlson Modificado.....	46
Tabela 9- Valores mensais de precipitação pluviométrica acumulada (mm), no período de estudo na região do reservatório de Três Irmãos.....	50
Tabela 10- Valores do índice do estado trófico para o fósforo total (IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	81
Tabela 11- Valores do índice do estado trófico para a clorofila <i>a</i> (IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	81
Tabela 12- Valores do índice do estado trófico médio(IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	82
Tabela 13- Resultados do teste de Wilcoxon para dados pareados, referente à análise das variáveis limnológicas entre as três diferentes profundidades e entre os seis pontos de coleta.....	91
Tabela 14- Resultados da análise de componentes principais preliminar.....	92
Tabela 15- Correlação (coeficiente de correlação > 0,7000) das variáveis analisadas com os fatores principais 1 e 2, e variância explicada, no período de Out./04 a Ago./05.....	97
Tabela 16- Correlação (coeficiente de correlação > 0,7000) das variáveis analisadas com os fatores principais 1 e 2, e variância explicada, no período de Out./04 a Ago./05.....	99
Tabela 17- Valores críticos de T para o Teste dos Postos com Sinais de Wilcoxon.....	141
Tabela 18- Valores de temperatura (°C) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	142
Tabela 19- Valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	142

Tabela 20- Valores de turbidez (UNT) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	143
Tabela 21- Valores de pH das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	143
Tabela 22- Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	144
Tabela 23- Concentrações de fósforo total (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	144
Tabela 24- Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	145
Tabela 25- Concentrações de nitrogênio nítrico (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	145
Tabela 26- Concentrações de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.....	146
Tabela 27- Características físico-químicas e biológicas dos esgotos na saída da lagoa facultativa da ETE da cidade de Pereira Barreto durante o período de estudo.....	147

Siglas Utilizadas

ACP- Análise de Componentes Principais
CESP- Companhia Energética de São Paulo
CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio
EE- Estação Elevatória
ET- Estado Trófico
ETE- Estação de Tratamento de Esgotos
GPS- Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
IET- Índice do Estado Trófico
LD- Limite de Detecção
OD- Oxigênio Dissolvido
SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UHE- Usina Hidrelétrica
UNT- Unidade Nefelométrica de Turbidez

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de odores deve ser considerada desde a fase do sistema de coleta e tratamento, até a disposição final dos esgotos. No sistema de coleta de esgotos, alguns locais inspiram cuidados operacionais e de manutenção, e devem merecer atenção, como os interceptores, os emissários e principalmente as estações elevatórias.

Unidades de tratamento de esgotos sanitários funcionando por processo anaeróbio são sempre uma preocupação, devido à possibilidade da liberação de maus odores. Na lagoa anaeróbia o oxigênio molecular está ausente, sendo a decomposição parcial da matéria orgânica realizada por microrganismos anaeróbios. As altas concentrações de sulfato no esgoto bruto, em condições anóxicas ou anaeróbias favorecem o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios redutores de sulfato que liberam gás sulfídrico, como produto do seu mecanismo, principal responsável pelos odores desagradáveis emitidos pelas estações de tratamentos de esgotos (ETEs).

Esses odores podem comprometer a qualidade de vida e saúde, tanto dos trabalhadores que operam as ETEs, como da população adjacente.

Neste sentido, na tentativa de minimizar a emissão desses odores, existem várias tecnologias convencionais ou não, que têm sido utilizadas com sucesso no controle de sulfetos, como o uso de peróxido de hidrogênio, soluções de sais de ferro, oxigênio molecular (oxigênio puro ou ar atmosférico), ventilação das redes coletoras, entre outras.

Na busca de uma solução alternativa para a questão em pauta, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo- SABESP, pioneiramente vem utilizando a técnica de aplicação de nitrato de amônio para o controle de odores.

Essa tecnologia foi aplicada pela SABESP nos municípios de Santos (ROSSIN et al., 1989), São Vicente e Monte Aprazível, e desde 1996 vem sendo utilizada em Pereira Barreto (AZEVEDO et al., 1999).

Vale ressaltar que essa técnica, além de levar a ótimos resultados, apresenta custo relativamente baixo, como também simples aplicação e fácil monitoramento.

Seu uso tem por finalidade inibir a produção de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), pois os Nitratos são considerados como fonte de suprimento de Oxigênio. Seu princípio baseia-se na preferência de certos organismos pelo NO_3^- (Nitrato), do que pelo SO_4^{2-} (Sulfato), havendo assim, a produção de N_2 (Nitrogênio) em lugar de Sulfeto de Hidrogênio. O mecanismo de reação do nitrato nos esgotos será detalhado no item 1.1.4.1.

Porém, a adição de nitrato de amônio na rede coletora de esgotos, pode aumentar a concentração de nitrogênio, acarretando alguns problemas no corpo receptor em que o efluente será lançado, como por exemplo, a eutrofização.

1.1. O SISTEMA DE ESGOTO - PEREIRA BARRETO/ S. P

O sistema de esgoto de Pereira Barreto é composto de cinco sub-bacias de esgotamento com vazão total de $8.800 \text{ m}^3/\text{dia}$ (coeficiente de retorno de 0.8, em 2001), sendo que cada uma delas conta com uma estação elevatória. Cada sub-bacia bombeia os seus efluentes para a sub-bacia vizinha. Assim, os efluentes da sub-bacia da estação elevatória 2 (EE-2) são bombeados para a EE-1 e desta para a EE-5.

O esgoto da EE-4 é recalcado para a EE-3 e desta para a EE-5. As estações elevatórias EE-1, EE-2 e EE-3 localizam-se na área urbana, enquanto que a EE-4 e EE-5 localizam-se na área rural (Figura 1).

Figura 1- Vista aérea do município de Pereira Barreto com a localização das estações elevatórias.

Da EE-5 o esgoto é recalcado através do emissário até a caixa de passagem e desta por gravidade até a estação de tratamento.

A estação está localizada na bacia do córrego Pederneiras, junto à margem esquerda do braço da represa da barragem de Três Irmãos. Atualmente atende uma população de 25.000 habitantes, no entanto, foi dimensionada para atender uma população futura de aproximadamente 41.000 habitantes.

O sistema de tratamento de esgotos é constituído por um conjunto de lagoas em série: lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, sendo o tempo de retenção total do sistema de 16 dias (6 dias na lagoa anaeróbia e 10 dias na lagoa facultativa). As dimensões da lagoa anaeróbia são 4,5 metros de profundidade, 115,90 metros de

comprimento e 150,10 metros de largura, e, da lagoa facultativa são 1,5 metros de profundidade, 370,5 metros de comprimento e 150,10 metros de largura.

1.1.1. Caracterização do Odor Proveniente do Sistema de Esgoto

Da análise do desempenho hidráulico do sistema de esgoto realizado pela CESP (Companhia Energética de São Paulo), constatou-se que vários foram os fatores que propiciaram a decomposição de materiais orgânicos, e conseqüentemente, o desprendimento do gás sulfídrico em tempo insuficiente dos esgotos atingirem o sistema de tratamento. Entre eles destacam-se:

- a) A elevada temperatura do esgoto, em torno de 35° C que aumenta a velocidade de decomposição anaeróbia da matéria orgânica;
- b) O elevado teor de sulfato existente na água de abastecimento;
- c) Trechos da rede coletora, com baixa declividade que propiciam um aumento no teor de sulfetos, em função do depósito de matéria orgânica, fato agravado pela temperatura do esgoto. Cerca de 7,5 % da extensão da rede urbana apresentaram esse problema;
- d) A existência de diversas obstruções parciais e/ou totais de trechos da rede, que dificultam o escoamento, provocando deposição de matéria orgânica que poderá entrar em decomposição. Esse problema de obstrução está relacionado com as ligações indevidas, caixas de gordura ou passagens mal construídas (ou ligações diretas sem sifão) que acabam carreando grandes quantidades de areia e terra para o sistema coletor de esgotos; e

- e) Falhas nos trechos hídricos das instalações prediais de esgoto, e a existência de ralos de drenagem pluvial ligados indevidamente ao sistema, sem fecho hídrico, bem como a não existência de sistema de ventilação às redes das casas.

1.1.2. Medidas Corretivas Propostas Visando à Redução do Odor

As medidas corretivas necessárias e que foram implantadas para amenizar o problema de odor gerado pelo esgoto em Pereira Barreto, propostas pela CESP, no período anterior a 1995, foram:

- a) Limpeza da rede coletora e das elevatórias, tendo a finalidade de eliminar os depósitos e obstruções existentes;
- b) Rebaixamento do nível das bóias de acionamento dos conjuntos de recalque das elevatórias, para diminuir o intervalo de tempo de retenção do esgoto;
- c) Implantação de um programa de limpeza constante dos cestos de retenção de sólidos das estações elevatórias;
- d) Instalação de caixas de gordura/passagem em residências particulares no município;
- e) Remanejamento de todos os trechos da rede coletora com declividades baixas; e
- f) Estabelecimento de programa de desconexão dos ralos de drenagem de água pluvial ligados ao sistema de esgotos. Foram enviadas correspondências a Secretaria de Saúde e Prefeitura Municipal de Pereira Barreto, para que essas irregularidades detectadas fossem corrigidas.

1.1.3. Solução Escolhida para Eliminação do Odor

Estudos da COPLASA Engenharia de Projetos S/A indicaram que o biofiltro de solo junto às estações elevatórias seria uma solução viável e resolveria o problema de mau cheiro em torno das mesmas. No entanto, problemas como o de odor proveniente da lagoa anaeróbia, de corrosão muito forte nas elevatórias, e no emissário a gravidade, não seriam solucionados.

Desta forma, a CESP optou por outro método, o da adição de nitrato de amônio. A aplicação do nitrato de amônio foi intensamente pesquisada pela SABESP que utilizou esse produto de forma pioneira. A SABESP, no período de 1988 a 1993, desenvolvia método de combate à formação do gás sulfídrico adicionando nitrato de amônio ao esgoto nas cidades de Santos e Monte Aprazível, ambas no estado de São Paulo, com ótimos resultados. Como este método também era preconizado pela COPLASA, a CESP, com a supervisão da SABESP implantou um campo experimental em Pereira Barreto, com a finalidade de resolver os dois problemas: odor e corrosão.

1.1.4. Aplicação do Nitrato de Amônio

O nitrato é transportado a granel, aplicado na forma líquida, e adicionado no esgoto por meio de dosadores de nível constante e automatizados com solenóides e temporizador para diferenciar a dosagem diurna da noturna. O produto é armazenado em 2 tanques com capacidades diferentes de estocagem, um com 12.500 L e o outro com 18.000 L. Todos os reservatórios são de polietileno (Figura 2). A Figura 3 mostra com detalhe o dosador de nitrato de amônio.

Figura 2- Reservatório de nitrato de amônio.

Figura 3- Dosador de nitrato de amônio.

Atualmente, 11 são os pontos de aplicação do produto, sendo:

- Um em cada elevatória;
- Um na lagoa anaeróbia, e;
- Cinco em pontos estratégicos da rede coletora.

De acordo com a CESP, a dosagem do nitrato de amônio aplicada na rede coletora de esgotos da cidade, é de aproximadamente 93 ppm. A quantidade mensal de nitrato de amônio lançado nos esgotos por meio do gotejamento esta em torno de 29 toneladas e o consumo médio diário é de aproximadamente 760 L, a uma concentração de 48,0 a 52,0%.

1.1.4.1. Mecanismo de Reação do Nitrato nos Esgotos.

Segundo Dague (1972) citado pela SABESP (1987), na oxidação bioquímica da matéria orgânica, os microrganismos – principalmente as bactérias – removem átomos de hidrogênio das moléculas orgânicas, ganhando dessa maneira, energia.

Desse processo, que alguns autores chamam de dehidrogenação, os átomos de hidrogênio são transferidos a compostos comumente chamados de *aceptores de hidrogênio*, que podem ser uma substância inorgânica ou orgânica. Esse processo ocorre por meio de uma série de reações bioquímicas. A molécula perdedora de átomos de hidrogênio é oxidada enquanto que a ganhadora desse átomo é reduzida. O quadro abaixo indica os possíveis aceptores de hidrogênio e o produto da adição de hidrogênio.

Quadro 1- Processo de dehidrogenação.

Aceptores de hidrogênio		Átomos de hidrogênio ganhos		Produto reduzido
1- O ₂	+	4 H ⁺	→	2 H ₂ O
2- 2 NO ₃	+	12 H ⁺	→	N ₂ + 6 H ₂ O
3- Composto orgânico oxidado	+	x H ⁺	→	Composto orgânico reduzido
4- CO ₂	+	8 H ⁺	→	CH ₄ + 2 H ₂ O

Fonte: AZEVEDO et al. (1993).

Com exceção da primeira reação, todas as demais são anaeróbias e ocorrem somente quando o oxigênio molecular está ausente, ou então quando se apresenta em quantidades limitadas.

Os microrganismos tendem a utilizar vários aceptores de hidrogênio, havendo uma hierarquia de utilização dada pela ordenação das reações apresentadas, isto é, o oxigênio molecular em primeiro lugar, oxigênio na forma de nitratos em segundo lugar, sulfatos em terceiro e assim por diante.

Poduska & Anderson (1981) citados pela SABESP (1987), atribuem essa seleção preferencial de aceptores de hidrogênio no processo metabólico dos microrganismos à quantidade de energia liberada pelas várias reações.

Do que foi dito, não quer dizer que todo microrganismo pode usar qualquer aceptor de hidrogênio, pelo contrário, alguns podem utilizar somente o oxigênio molecular como aceptor de hidrogênio (microrganismos aeróbios), outros podem usar somente o oxigênio combinado (anaeróbios); no entanto, um grande número de espécies usa indistintamente o oxigênio, tanto na forma molecular como na combinada. Esses são os facultativos.

1.2. NITRATO DE AMÔNIO (NH_4NO_3)

É o mais importante entre os fertilizantes nitrogenados em virtude do elevado teor de nitrogênio (33%), da simplicidade e do baixo custo de fabricação, e também, graças ao seu nitrogênio de ação rápida do nitrato e ao nitrogênio de ação lenta do amônio (SHREVE e BRINK, 1997).

De acordo com a ficha técnica do produto (ULTRAFÉRTIL S. A., 2001), o nitrato de amônio deve apresentar as seguintes características:

- Teor de nitrato de amônio (%) - 48,0 a 52,0
- Teor de nitrogênio (%) - 16,8 a 18,2
- Ferro- Fe (ppm) - 1 a 2
- Cinzas- CIN (ppm) - 46 a 131
- Matéria orgânica- MO (ppm) - 2 a 66
- Insolúveis em água- IA (ppm) - 5 a 77
- pH a 10% - 6,2 a 8,3

- Densidade a 25 °C (g/cm³)- 1,200 a 1,217

Este produto é um forte oxidante que reage com álcalis fortes liberando amônia. Pode também reagir vigorosamente com materiais redutores, bem como entrar em ignição quando em contato com dicromato, cromato, sais de cromo, cloreto de sódio, nitrato de potássio, pós-metálicos, cobre, bronze, carvão e outros combustíveis finamente divididos (U. S. EPA, 2003).

1.2.1. Riscos à Saúde

O nitrato de amônio pode produzir irritações aos olhos, pele e trato respiratório. Em alta temperatura devido a decomposição, pode liberar óxidos de nitrogênio tóxicos (NO_x). A inalação de óxidos nitrosos (N₂O) causa irritações nas membranas mucosas, sérias congestões pulmonares e dificuldade na respiração. A inalação sistemática de grande quantidade pode provocar acidose metabólica e metemoglobina (CAMPBELL, 2000). Os sintomas desaparecem quando o indivíduo é afastado da exposição ao produto. É importante ressaltar que o NH₄NO₃, não é considerado cancerígeno pelo Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Agência Americana responsável pelas Normas de Saúde e Segurança Ocupacional (ULTRAFÉRTIL S. A., 2001).

1.2.2. Processo de Fabricação

Segundo SHREVE e BRINK (1997), o nitrato de amônio é obtido de acordo com a seguinte reação química:

A amônia na forma de gás ($\text{NH}_3(\text{g})$) reage com uma solução aquosa de ácido nítrico ($\text{HNO}_3(\text{aq})$) pré-aquecida num reator contínuo, resultando na formação do nitrato de amônio aquoso.

O produto na forma a granel é obtido da seguinte maneira:

Primeiramente, a solução de nitrato de amônio é concentrada num evaporador.

Em seguida, o nitrato concentrado contendo 95,0 a 99,8 % de teor de NH_4NO_3 , é enviado para o topo de uma torre de pelotização, onde é pulverizado.

Na torre, as gotículas de nitrato de amônio são submetidas, em contracorrente, a uma corrente de ar quente que as solidifica em grânulos.

O teor de umidade dos grânulos produzidos é da ordem de 0,2%. Quando desejado, é possível recobrir esses grânulos com substâncias anti-higroscópicas.

A Figura 4 representa o fluxograma simplificado do processo de fabricação do nitrato de amônio.

Figura 4- Fluxograma simplificado do processo de fabricação do nitrato de amônio.

Fonte: SHREVE e BRINK (1997).

O Quadro 2 descreve esses pontos de amostragem.

Quadro 2- Descrição dos pontos de amostragem monitorados pela CETESB-reservatório de Três Irmãos.

Código do Ponto	Latitude	Longitude	Corpo d' água	Localização
TITR 02100	21° 02' 54"	50° 28' 03"	Reservatório Três Irmãos	Ponte na Rodovia SP- 463, trecho que liga Araçatuba a Jales
TITR 02800	20° 39' 35"	51° 08' 48"	Reservatório Três Irmãos	Ponte na rodovia SP- 563, trecho que liga Pereira Barreto a Andradina

De acordo com o relatório da CETESB de 2003, o índice do estado trófico (IET) obtido para os dois pontos de coleta no reservatório, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Valores do índice do estado trófico (IET), nos pontos de amostragem monitorados pela CETESB no reservatório de Três Irmãos durante o ano de 2002.

Código	Corpo d'água	FEV	ABR	JUN	AGO	OUT	DEZ	Média
TITR 02100	Reservatório de Três Irmãos	35,79	42,57	35,79	28,42	39,20	42,57	37,39
TITR 02800	Reservatório de Três Irmãos	40,54*	39,20	35,79	38,70*	45,79	35,79	39,73

Fonte: CETESB, 2003.

Notas:

1) * O IET foi calculado com base nos resultados de clorofila a e fósforo total.

2) Os demais valores de IET foram calculados com base nos resultados de fósforo total.

A classificação deste índice, pela CETESB, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4- Classificação do índice do estado trófico utilizada pela CETESB, 2003.

Critério	Estado Trófico
$IET \leq 44$	Oligotrófico
$44 < IET \leq 54$	Mesotrófico
$54 < IET \leq 74$	Eutrófico
$IET > 74$	Hipereutrófico

Fonte: CETESB, 2003.

Como pode ser observado na Tabela 3, o ponto de amostragem TITR 02100 apresentou padrão oligotrófico, enquanto o ponto TITR 02800 condições variando entre mesotrófica e oligotrófica.

Para os parâmetros sanitários nitrato (NO_3^-), nitrogênio amoniacal (NH_3) e fósforo total (PT), os valores médios obtidos em 2002, foram comparados aos padrões de qualidade dos corpos receptores para a Classe 2, conforme a Resolução CONAMA nº 20 (18/06/86), e encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5- Parâmetros sanitários- valores médios nos pontos de coleta monitorados pela CETESB, reservatório de Três Irmãos (2002), comparados com os padrões do CONAMA 20/86.

Código do Ponto	NO_3^-	CONAMA 20/86	NH_3	CONAMA 20/86	PT	CONAMA 20/86
TITR 02100	0,35	Máximo	0,06	-	0,018	Máximo
TITR 02800	0,30	10 mg/L	0,08	-	0,019	0,025 mg/L

Fonte: CETESB, 2003.

1.4. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) DE TRÊS IRMÃOS

O Reservatório de Três Irmãos localiza-se no trecho final do Rio Tietê, entre as coordenadas 21°45' S e 49°47' W, estando inserido na Bacia do Baixo Tietê, com intensa atividade agropecuária.

A área da bacia hidrográfica desta represa é de 70.600 Km². O reservatório mede 785 Km², com perímetro de 1.400 Km, volume máximo de 13.800x10⁶ m³ e tempo de residência de 217,9 dias (CESP, 2005). O reservatório apresenta uma profundidade média de 17,2 m. A área inundada é de 81.700 ha.

A UHE de Três Irmãos (Figura 6), é a maior usina construída no Rio Tietê e está localizada a 28 km da confluência com o rio Paraná e a 125 km da UHE de Nova Avanhandava. A UHE de Três Irmãos dista cerca de 25 Km da cidade de Pereira Barreto, 40 Km da UHE de Jupia e 40 Km da cidade de Ilha Solteira.

Possui cinco unidades geradoras com turbinas Francis e potência instalada de 807,50 MW. A primeira unidade geradora entrou em operação em Novembro de 1993 e a quinta, em Janeiro de 1999 (CESP, 2005).

Sua barragem possui um comprimento total de 3.640m. Possui duas eclusas para navegação, e máximo desnível de 49,8 m.

Figura 6- Usina Hidrelétrica de Três Irmãos.
Disponível em: <http://www.cesp.com.br/imagens/3irmaos.jpg>

O canal de Pereira Barreto (Figuras 7 e 8), com 9.600 m de comprimento interliga os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, propiciando a operação energética integrada dos dois aproveitamentos hidrelétricos, além de permitir a navegação entre os tramos norte e sul da Hidrovia Tietê-Paraná (CESP, 2005).

Figura 7- Canal de Pereira Barreto
Disponível em:
<http://www.pereirabarreto.com.br/paginas/historia/01102005200928.jpg>

Figura 8- Imagem do canal por satélite

Disponível em:

<http://www.pereirabarreto.com.br/paginas/historia/01102005201912.jpg>

1.4.1. Clima

A maior parte da região apresenta segundo a classificação de KÖPEN, um clima Aw, isto é, com chuvas de verão e estiagem de inverno, temperatura média entre 19 °C e 28 °C e pluviosidade média inferior a 2000 mm/ano, e no alto dos espigões que formam os limites da bacia, apresenta um clima Cwa, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (1000 e 1500 mm), onde as médias de temperatura podem ultrapassar a casa dos 20 °C (CESP, 1990a).

1.4.2. Vegetação

A vegetação primitiva era representada principalmente pela Floresta Tropical, pelo Cerrado e pelo Cerradão, da qual, atualmente, resta poucos e esparsos remanescentes (CESP, 1990a).

Nas planícies aluviais mal drenadas, ocorriam os campos hidrófilos e higrófilos e, os últimos remanescentes das formações ciliares existentes ao longo do Rio Tietê, que foram derrubadas em função do enchimento do reservatório da UHE Três Irmãos (CESP, 1990a).

1.4.3. Geologia

Situada na Província Estrutural ou Tectônica do Paraná, a região sob influência do reservatório da UHE Três Irmãos encontra-se recoberta pelos sedimentos cretáceos do Grupo Bauru, representados pelas formações Santo Anastácio e Adamantina sobrepostos aos da formação Serra Geral (CESP, 1990b). Os depósitos quaternários de origem aluvionar, que afloravam ao longo do Rio Tietê e em alguns de seus afluentes, ficaram totalmente submersos após o enchimento do reservatório.

Essa região é constituída na quase totalidade por formações areníticas, assentadas sobre basaltos. Essas formações compreendem arenitos finos e grosseiros, siltitos, lamitos, arenitos lamíticos e argilosos (CESP, 1990b).

1.4.4. Geomorfologia

O reservatório de Três Irmãos localiza-se na província geoformológica do Planalto Ocidental, na zona do Baixo Tietê. Essa região apresenta características de relevo que vão desde vales amplos, sem grandes variações morfológicas até colinas amplas, com cerca de 400 m de altitude (CESP, 1990b).

As áreas de ocorrência da Formação Santo Anastácio apresentam um relevo suave, com vales amplos, de poucas variações morfológicas.

Nas zonas de ocorrência da Formação Adamantina, predomina o relevo de colinas amplas e médias, suaves e convexas, morrotes alongados e relevos de transição.

As áreas que repousam sobre basaltos da Formação Serra Geral apresentam topografia suave.

Na calha do Rio Tietê e em alguns de seus afluentes, desenvolvem-se extensos e planos depósitos aluvionares, com exceção dos locais onde os basaltos afloram nas margens.

Os baixos vales dos principais rios da bacia correm sobre um substrato de rochas basálticas, o que origina freqüentemente um fundo aplainado propício à formação de depósitos aluvionares.

1.4.5. Solos

1.4.5.1. Tipos de Solos, Usos e Ocupação

Os tipos de solos do entorno do reservatório podem ser classificados diferencialmente de acordo com suas relações com o substrato. Assim, observa-se a predominância de solos podzólicos de textura arenosa e média, e secundariamente latossolos de textura média, ambos originados dos arenitos. Ocorrem ainda, latossolos roxos e as terras roxas estruturadas, ambos de textura muito argilosa, originada dos basaltos. Os solos aluviais e hidromórficos ocorrem em menor quantidade, nas várzeas e depressões dos terrenos, e ainda, abrigam espécies vegetais de áreas úmidas, de grande valor para a reprodução da fauna. Apresentam grande resistência ao desenvolvimento de processos erosivos (CESP, 1990b).

Os solos podzólicos se desenvolvem em geral nas encostas das colinas. Quando estas são mais íngremes, é grande o risco de erosão com a formação de ravinas e boçorocas. Apresentam boa fertilidade natural.

Os latossolos se formam nos topos das colinas amplas e nas encostas mais suaves; são profundos, pouco propícios à erosão e de baixa fertilidade.

As terras roxas estruturadas aparecem em geral junto a latossolos roxos, nas cabeceiras dos rios e grotões, junto ao fundo dos vales e em encostas mais declivosas. São mais sensíveis à erosão que os latossolos, mas resistem melhor ao aprofundamento de ravinas devido a sua textura. São as melhores terras para a agricultura.

A ocupação agrícola da região, especialmente durante a fase cafeeira na década de 40, deu-se de forma predatória, sem a preocupação com a conservação dos recursos naturais.

A exploração inadequada das terras teve como consequência a aceleração dos processos de exaurimento dos solos agrícolas. Nos dias atuais, as extensas áreas cobertas por solos arenosos de baixo a médio potencial agrícola, encontram-se utilizadas, sobretudo com a pecuária, atividade principal da região. Em menor escala, aparecem áreas com culturas perenes, como o café, a laranja ou temporários, como o milho (CESP, 1990a).

2. HIPÓTESE

“O aumento da concentração de nitrogênio no corpo receptor (reservatório de Três Irmãos) está associado à adição de nitrato de amônio na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto”.

3. JUSTIFICATIVA

Considerando a importância da pesquisa sobre os impactos ambientais resultantes da adição de nitrato de amônio nos esgotos para o controle de odor, e a influência desta técnica na qualidade da água do corpo receptor, e ainda, devido à escassez de informações a respeito, julgou-se relevante o presente estudo no sentido de contribuir para o desenvolvimento de pesquisas sobre o assunto, já que o reservatório de Três Irmãos é utilizado para usos múltiplos (abastecimento público e industrial, recepção de efluentes domésticos e industriais, irrigação de plantações, navegação e geração de energia elétrica).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a alteração da qualidade da água, na região de lançamento dos esgotos no reservatório de Três Irmãos, em decorrência do nitrato de amônio aplicado na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os parâmetros que exercem influência no processo de eutrofização, como nitrogênio e fósforo, além da clorofila a;
- Verificar a correlação entre os parâmetros analisados;
- Verificar a variação dos parâmetros avaliados nos pontos de amostragem, no período de um ano;
- Avaliar o nível trófico da região de lançamento dos esgotos.

5. CONCEITOS E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1. EUTROFIZAÇÃO

A palavra eutrofização deriva do grego, significando “bem-nutrido” (AMARAL E SILVA, 1972).

A eutrofização é o enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática. Não é, sinônimo ou equivalente à poluição. “É um processo natural dentro da sucessão ecológica dos ecossistemas, quando o ecossistema lacustre tende a transformar-se num ecossistema terrestre utilizando a interação do lago com o meio terrestre que o circunda” (BRAGA et al., 2002).

A eutrofização é, portanto, um processo de envelhecimento natural de um ecossistema lacustre que ocorre independentemente das atividades humanas (AMARAL E SILVA, 1972). Manifesta-se por meio do aumento da produtividade biológica de um corpo d’água, sendo observado o crescimento excessivo de algas e outros vegetais superiores devido à maior quantidade de nutrientes disponível. Os nutrientes mais importantes para a ocorrência da eutrofização são em geral o nitrogênio e o fósforo.

5.2. CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

Lagos e reservatórios podem ser, de modo geral, classificados de acordo com a produtividade biológica como oligotróficos ou eutróficos. Estes termos foram introduzidos por Weber em 1907, ao descrever condições relacionadas com nutrientes em pântanos turfosos. Posteriormente, entre 1918 e 1919, Thienemann e Naumann ampliaram estes termos para lagos (AMARAL E SILVA, 1972).

Um terceiro nível, mesotrófico, é geralmente utilizado para descrever corpos d'água em um estado de transição entre oligotrófico e eutrófico.

Assim, lagos oligotróficos do grego “pouco nutrido”, são pobres em matéria orgânica e nutriente, tanto em suspensão como no fundo, onde a disponibilidade de plâncton é bastante limitada.

Os lagos eutróficos apresentam alto nível de produtividade quando comparados com os níveis que ocorrem naturalmente. São ricos em matéria orgânica e elementos minerais, ocorrendo um crescimento excessivo de algas com frequência.

Os lagos mesotróficos, de produtividade média, representam um estado intermediário nessa seqüência temporal da vida dos ambientes aquáticos.

5.3. FATOR LIMITANTE

Segundo BRANCO et al. (1991), “a produtividade de um corpo d'água, isto é, a sua capacidade de conter biomassa viva pode ser medida diretamente, pela avaliação do desenvolvimento da biomassa, ou pode ser avaliado em termos de produção potencial, através da medida dos fatores químicos responsáveis pela proliferação de seres vivos”. Em geral, a quantidade de vida (biomassa) possível em um corpo d'água é determinada pela quantidade do componente químico que se acha presente em quantidade mínima relativamente à sua exigência específica. Se todos os elementos químicos formadores dos seres vivos estiverem presentes na água, a biomassa crescerá até que um deles se torne limitante. Daí em diante será esse o fator que determinará a quantidade de biomassa presente e não os outros, que existem em excesso.

O conceito de fator limitante se torna importante não só para a finalidade de se estimular artificialmente à produtividade do meio (como se faz, usualmente, na agricultura, dosando fertilizantes químicos no solo) como, ao contrário, para reconhecer a causa de desenvolvimento excessivo de certos microrganismos aquáticos gerando desequilíbrios ecológicos e danos à qualidade das águas, como é o caso muito comum de crescimento de algas em mananciais destinados ao abastecimento.

WETZEL (1993) menciona que embora a produtividade do fitoplâncton nos lagos oligotróficos, quase sempre seja limitada pela disponibilidade de fósforo, à medida que se tem aumento da sobrecarga de fósforo para a água doce e os lagos se tornam mais produtivos, passa a ser o nitrogênio, muitas vezes, o nutriente limitante do desenvolvimento vegetal. Quando a sobrecarga destes nutrientes se torna excessiva, o desenvolvimento continua até que outros nutrientes ou a intensidade luminosa sejam limitantes.

5.4. EUTROFIZAÇÃO ANTRÓPICA, CULTURAL OU ACELERADA

A eutrofização natural de lagos é um processo lento, associado ao tempo de evolução dos ecossistemas. No entanto, a eutrofização prematura de muitos deles associada à poluição, tem acelerado o processo natural, encurtando assim, a vida útil desses corpos d'água, do ponto de vista de sua qualidade, processo chamado de eutrofização antrópica, cultural e acelerada (RYDING e RAST, 1989).

De acordo com Esteves e Barbosa (1986) citados por BRANCO et al. (1991), esse processo antropogênico gera um excesso de matéria orgânica, superior à capacidade de decomposição do sistema, provocando em última análise a ruptura do

equilíbrio ecológico, com severas alterações em todo o metabolismo do sistema lacustre.

5.5. CAUSAS DA EUTROFIZAÇÃO ACELERADA

Os organismos fotossintetizantes aquáticos dependem de substâncias que denominamos nutrientes e que são indispensáveis, ao seu crescimento e proliferação. Esses elementos essenciais à vida aquática estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6- Elementos essenciais à vida aquática.

Elementos	Função Biológica ou Ocorrência
Hidrogênio	Constituinte de quase toda matéria orgânica
Carbono	Elemento básico de compostos orgânicos
Oxigênio	Presente em muitos compostos orgânicos, necessário à respiração
Nitrogênio	Componente de aminoácidos e derivados
Fósforo	Usado na formação de compostos ricos em energia; também nos ossos e dentes
Sílica	Material estrutural de diatomáceas
Cálcio	Ossos, enzimas, soluções eletrolíticas biológicas
Magnésio	Enzimas, clorofilas
Sódio	Ação nervosa, soluções eletrolíticas biológicas
Potássio	Ação nervosa, soluções eletrolíticas biológicas
Boro	Necessário a algas e plantas
Flúor	Fortalecimento dos dentes
Iôdo	Hormônios da tireóide
Enxôfre	Aminoácido, proteínas
Cloretos	Ação nervosa, eletrólitos biológicos
Selênio	Ação do fígado, plantas
Molibdênio	Enzimas
Cobalto	Enzimas
Ferro	Enzimas, atividades respiratórias, processos biológicos REDOX
Manganês	Enzimas
Cromo, Cobre	Enzimas
Zinco, Vanádio	Enzimas

Fonte: BRANCO et al. (1991).

A maior parte destes nutrientes é necessária em quantidades mínimas, traços somente. Oxigênio, carbono, nitrogênio e fósforo são, entretanto, necessários em maior quantidade. A insuficiência de qualquer um desses nutrientes pode provocar a limitação do crescimento.

Na maioria dos ecossistemas aquáticos o fósforo é o nutriente limitante.

Quanto ao nitrogênio, apesar de a maior parte dos seres fotossintetizantes aquáticos necessitarem desse elemento sob a forma de nitrato dissolvido na água, na escassez, há seres fotossintetizantes que o utilizam na forma gasosa.

A única fonte natural de fósforo é o desgaste de rochas que contêm fosfato, provocado pelas intempéries naturais, onde é carregado para os corpos d'água pelo escoamento superficial, circulando na cadeia alimentar por meio da reciclagem de matéria feita pelos decompositores.

As fontes de fósforo resultantes das atividades provocadas pelo homem advêm principalmente dos esgotos domésticos, dos esgotos industriais e da drenagem de áreas agrícolas.

Existem outros fatores que determinam a eutrofização, tais como: a intensidade e a penetração da luz, a temperatura, as características das vazões afluentes e efluentes, o processo de mistura, a química da água, o CO₂ (gás carbônico) disponível, as características morfológicas do corpo d'água e a sua localização geográfica (BRANCO et al., 1991).

Uma indicação segura do efeito da radiação solar e da temperatura sobre o processo de eutrofização, é o fato de a grande maioria dos lagos oligotróficos se encontrar em climas frios e em elevações maiores (RYDING e RAST, 1989). A radiação solar fornece energia necessária para o crescimento dos organismos

fotossintetizantes e juntamente com a temperatura é responsável pelo regime térmico do ambiente aquático.

Os mesmos autores relatam que corpos d'água em regiões tropicais possuem uma tendência maior a eutrofização por estarem localizados em regiões quentes, e com grande incidência de radiação solar, praticamente constante ao longo do ano.

Quanto aos caracteres morfológicos do meio aquático, é a profundidade que apresenta maior importância como fator de estabelecimento da eutrofização. Os lagos mais rasos, por permitirem maior influência da radiação solar, são geralmente mais produtivos que os lagos profundos.

Outra característica morfológica a ser considerada é a forma da superfície.

Lagos com alto índice de desenvolvimento de margens (IDM), de formas dendríticas, também favorecem o estabelecimento de eutrofização por disporem de maior zona litoral.

O tempo de retenção hidráulica ou o tempo de residência é um outro importante fator para a eutrofização, associando características hidrológicas (vazão afluente), morfométricas (volume do reservatório) e de operação do sistema (vazão efluente). A importância desse fator reside no fato de que as algas necessitam de um determinado período de tempo para atingirem o seu desenvolvimento ideal, ficando assim, na dependência de tempo de residência favorável.

5.6. CONSEQUÊNCIAS DA EUTROFIZAÇÃO

A presença de quantidades excessivas de nutrientes, geralmente causada por ação antrópica, na forma de lançamento de esgotos ou de águas que drenam áreas fertilizadas com adubos químicos, pode gerar concentrações excessivas de

produtores primários (algas), formando massas vegetais densas que não chegam a ser consumidas pela seqüência das cadeias tróficas normais, ou seja, algas constituem alimento de microcrustáceos, animais unicelulares e mesmo alguns peixes (consumidores primários), os quais, por sua vez, constituem alimento de animais maiores (consumidores secundários, terciários, etc.). Nessas condições, o excesso de população de vegetais morre e passa a ser diretamente consumido por organismos decompositores (fungos e bactérias), criando condições de desequilíbrio ecológico, com grande consumo de oxigênio e produção de altas concentrações de subprodutos que alteram a composição das águas.

Em uma situação de desequilíbrio ecológico, observa-se uma espécie de especialização ou seleção de espécies, em que o meio passa a possuir pouca diversidade, mas representada por números extraordinários de indivíduos (RYDING e RAST, 1989).

O esquema a seguir mostra o desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados.

Figura 9- Desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados.

Fonte: BRAGA et al. (2002) adaptado.

Segundo BRAGA et al. (2002), as conseqüências da eutrofização podem ser englobadas em duas categorias:

1ª.) Impactos sobre os ecossistemas e a qualidade da água:

- A diversidade biológica diminui, pois poucas espécies sobrevivem às condições adversas;
- Há alteração das espécies de algas presentes no meio; caso haja nitrato em quantidade suficiente, diversas espécies podem estar presentes; se não houver nitrogênio em forma de nitrato haverá um crescimento de algas azuis;
- Os baixos teores de oxigênio na água alteram a composição das espécies de peixes presentes no meio;
- As concentrações elevadas de compostos orgânicos dissolvidos provocarão sabor e odor desagradável e diminuirão a transparência da água. Alguns desses compostos são precursores de compostos halogenados, como os trihalometanos, potencialmente cancerígenos, que são produzidos quando a água sofre desinfecção por cloro em estações de tratamento; e
- A decomposição anaeróbia que ocorre no fundo do lago libera metano, gás sulfídrico, amônia, além de fósforo, ferro e manganês e outros compostos, alterando condições químicas como o pH, por exemplo.

2.ª) Impactos sobre a utilização dos recursos hídricos:

- A utilização do corpo de água como manancial de abastecimento fica prejudicada porque o excesso de algas obstrui os filtros das estações de tratamento, dificulta a operação para controle do pH e da floculação e aumenta os custos para controle

de odor e sabor, pois torna-se necessário instalar filtros de carvão ativado e unidades para remoção do ferro e do manganês, e após a cloração pode haver a formação de trihalometanos;

- Investigações epidemiológicas têm mostrado elevada correlação entre a presença de grandes concentrações de algas azuis e epidemias de distúrbios gastrointestinais;
- Uso recreacional do corpo de água fica prejudicado, impedindo atividades como a natação e dificultando até mesmo o acesso de barcos;
- Uso do corpo de água para a irrigação também fica comprometido devido à obstrução nos sistemas de bombeamento e crescimento de macrófitas nos canais; e
- Há perda do valor comercial das propriedades localizadas nas margens dos corpos de água que sofrem eutrofização.

5.7. MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA O CONTROLE DA EUTROFIZAÇÃO

As medidas a serem tomadas no controle da eutrofização são sempre polêmicas (BRAGA et al., 2002). As soluções possíveis podem ser divididas da seguinte forma:

A) Medidas Preventivas

São aquelas que visam reduzir a carga externa do nutriente limitante.

Fontes pontuais (de controle mais fácil):

- ◆ Remoção de nutrientes por meio de tratamento terciário do esgoto doméstico; e
- ◆ Tratamento de despejos industriais.

Fontes difusas (de controle muito mais difícil):

- ◆ Diminuição do uso de fertilizantes agrícolas à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). Esse tipo de fonte difusa é produzido pelas águas de escoamento superficial de áreas cultivadas e também, por infiltração desses resíduos químicos da adubação mineral ou orgânica. A utilização de compostos de natureza tóxica como os herbicidas, inseticidas e fungicidas empregados na lavoura, também devem ser reduzidos, pois comprometem seriamente a qualidade dos mananciais;
- ◆ Recomposição de matas ciliares; e
- ◆ Controle do escoamento de águas pluviais de áreas urbanas com o afastamento dessas águas de lagos e reservatórios

B) Medidas Corretivas

São aquelas que atuam sobre os processos de circulação de nutrientes no lago e sobre o ecossistema.

- ◆ Aeração da camada inferior dos lagos para manter o fósforo na sua forma insolúvel;

- ◆ Precipitação química do fósforo;
- ◆ Redução da biomassa vegetal por meio da colheita de vegetação aquática, por exemplo, as macrófitas que causam interferências diversas nos corpos d'água, como prejuízos à navegação, aeração, entre outras; e
- ◆ Remoção do sedimento do fundo.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

6.1.1. Caracterização da Área no Reservatório de Três Irmãos

A área de estudo situa-se na bacia do Córrego Pederneiras (atualmente um dos braços da margem direita da Represa de Três Irmãos), e corresponde à região de lançamento dos efluentes tratados da cidade de Pereira Barreto.

O clima é do tipo tropical, com chuvas de verão e estiagem no inverno. A temperatura atinge baixa de 20° C, média de 25° C e máxima de 30° C.

Geologicamente apresenta em grande parte de sua área, substrato de aluviões e colúvios quaternários, sedimentos cretáceos do grupo Bauru, e de basaltos da Formação Serra Geral (ALBUQUERQUE FILHO et al., 1997).

Em termos de ocupação do solo, na região do entorno deste braço do reservatório, observa-se em ambas as margens o predomínio de algumas unidades de criação de gado.

Em termos de vegetação, devido às áreas de pastagem, observa-se que praticamente toda a vegetação primitiva do local foi extinta.

Figura 10- Localização da área de estudo.

6.1.2 Caracterização do Sistema de Tratamento de Esgotos de Pereira Barreto

A cidade de Pereira Barreto conta hoje com um sistema de lagoas de estabilização (sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa, também conhecido como sistema australiano).

As lagoas de estabilização constituem em um processo biológico de tratamento de águas residuárias que se caracterizam pela simplificação, eficiência e baixo custo. É um sistema de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica e/ou redução fotossintética pelas algas.

Com relação à lagoa anaeróbia, esta é responsável pelo tratamento primário dos esgotos, e é dimensionada para receber cargas orgânicas elevadas que impedem a existência de oxigênio dissolvido; a matéria orgânica presente nesta lagoa é digerida anaerobicamente. A eficiência de remoção de DBO por uma lagoa anaeróbia é da ordem de 50% a 70% (VON SPERLING, 2005). Como a DBO efluente é ainda

elevada, existe a necessidade de uma outra unidade de tratamento. Neste caso, esta unidade constitui-se de uma lagoa facultativa. As lagoas facultativas, onde o termo refere-se à dualidade ambiental: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo, são responsáveis pelo tratamento secundário dos esgotos.

Os esgotos afluentes à estação de tratamento de esgotos de Pereira Barreto são predominantemente domésticos, em função da não existência de indústrias ou atividades comerciais que possam produzir efluentes de maior carga ou toxicidade.

6.2 PROCEDIMENTO DE CAMPO

O trabalho de campo iniciou-se em Outubro de 2004, tendo sido finalizado em Agosto de 2005. As coletas foram realizadas com periodicidade bimestral, perfazendo um total de 6 campanhas.

Cada coleta foi realizada em 6 pontos fixos descritos a seguir:

Ponto B – 650 metros à montante do lançamento dos esgotos;

Ponto 1 – no ponto de lançamento dos esgotos tratado;

Ponto 2 – 30 metros à jusante do lançamento;

Ponto 3 – 60 metros à jusante do lançamento;

Ponto 4 – 90 metros à jusante do lançamento; e

Ponto 5– Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) – Saída da Lagoa Facultativa (caixa de saída- 2).

Os 4 pontos amostrados no reservatório foram estabelecidos em função das avaliações preliminares no campo. São pontos chaves, estrategicamente localizados na área de estudo, por estarem próximos ao lançamento dos esgotos tratados da ETE

do município de Pereira Barreto, o que possibilitou, detectar influências mais representativas desta fonte de poluição.

A amostragem no reservatório foi simples e manual, com o uso de barco munido de motor de popa, obedecendo sempre a mesma sequência de pontos.

As amostras de efluente final foram também do tipo simples e colhidas manualmente. Deve-se mencionar que por se tratar de um processo de lagoas de estabilização, os picos de vazão são amortizados, podendo-se aceitar amostragem simples. TAKEUTI (2003) e FONSECA et al. (2005) ao estudarem as lagoas de estabilização da cidade de Santa Fé do Sul-SP e do Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CETEC/UFRJ), respectivamente, utilizaram amostras simples de esgotos para as determinações dos parâmetros físico-químicos e biológicos pela mesma razão mencionada.

Os pontos de coleta no reservatório foram georeferenciados (latitude e longitude) por meio de um GPS (modelo- E-MAP, marca- GARMIN).

Na Tabela 7 são mostradas a coordenadas geográficas dos pontos de coleta, e na Figura 11, a localização desses pontos no reservatório.

Tabela 7- Coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

Código	Localização
B	7721323 N e 484576 E
P1	7720681 N e 484656 E
P2	7720650 N e 484651 E
P3	7720621 N e 484645 E
P4	7720595 N e 484631 E

Figura 11- Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Três Irmãos (antigo córrego Pederneiras).

Em cada ponto selecionado no reservatório, as amostras foram tomadas à superfície, à meia profundidade e fundo. A profundidade da coluna d'água foi medida por meio de uma corda de poliuretano com marcação a cada 1 metro. Para as coletas de água à meia profundidade e fundo utilizou-se uma garrafa de fechamento remoto do tipo Van Dorn, com capacidade de 5 litros.

Após a coleta, as amostras foram mantidas em caixa de isopor com gelo para transporte até o laboratório, onde foram armazenadas em geladeira a 4° C até o início dos testes.

6.3. PARÂMETROS ANALISADOS

Os parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos analisados foram: temperatura, turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio e clorofila *a*. Os valores de profundidade da coluna d'água, temperatura do ar e das amostras, condutividade, pH e oxigênio dissolvido foram obtidos “in situ”. A demanda bioquímica de oxigênio foi determinada apenas nas amostras de efluente final.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP. A análise de nitrato foi realizada no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da USP. O número total de amostras analisadas neste trabalho foi de 96, sendo 90 de água e 6 de efluente final.

Para determinação dos parâmetros analisados, foram utilizados o Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água (CETESB, 1988) e o “Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995)”.

Os valores obtidos das características analisadas foram comparados com os preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005, Classe 2, e pelo Decreto Estadual Nº 8.468/1976 (Artigo 18), com o objetivo de verificar se os parâmetros estão dentro dos padrões aceitáveis pelas legislações mencionadas.

6.3.1. Descrição Sucinta dos Métodos Empregados nas Análises

Variáveis físicas

- **Temperatura (°C)**- medida com um termômetro de mercúrio, com intervalo de escala de 1° C.
- **Turbidez (UNT)**- medida com o auxílio de um turbidímetro HACH, modelo 2100 A.

Variáveis químicas

- **Condutividade ($\mu S/cm$)**- medida com um condutivímetro LCI Motte Con 5.
- **pH (potencial hidrogeniônico)**- Método potenciométrico. Uso de equipamento de campo (WTW pH 315i/SET), composto por sonda de medida (WTW pH Sentix 20).
- **Oxigênio Dissolvido (OD) (mg/L)**: medido por meio do método de Winkler, modificado pela azida sódica. As amostras foram coletadas em frascos de vidro âmbar com tampa esmerilhada. As análises foram executadas em campo, imediatamente após a coleta.
- **Fósforo Total (mg/L)**: Método espectrofotométrico da reação com molibdato de amônio e ácido ascórbico. A reação do molibdato de amônio e do ácido ascórbico

para fósforo total acontece após a digestão ácida da amostra. A leitura é feita em espectrofotômetro a 880 nm em cubeta de 1,0 cm de caminho ótico. As amostras de água para esta análise, foram coletadas em frascos âmbar de 270 mL, previamente lavados com ácido clorídrico e enxaguados com água destilada. O limite de detecção para este método analítico é de 0,01mg/L de fósforo.

- ***Nitrogênio Amoniacal (Amônia) (mg/L)***: Método da nesslerização com destilação prévia. A amostra é tamponada em pH 9,5 com tampão de borato para reduzir a hidrólise de cianatos e de compostos orgânicos de nitrogênio, e permitir a evolução total da amônia durante a destilação. Em seguida, é destilada, sendo o destilado recolhido em ácido bórico. A amônia no destilado é determinada espectrofotometricamente a 420 nm, após nesslerização. Para concentrações acima de 5,00 mg/L de amônia o destilado é titulado com ácido sulfúrico padronizado. As amostras de água para esta análise foram transportadas em frascos de polietileno, previamente lavados com ácido clorídrico e enxaguados com água destilada.
- ***Nitrogênio Nitrato (mg/L)***: Colorimetria automática com N (1- naftil) etilenodiamina e sulfanilamida, após redução em coluna de cádmio. O limite de detecção do método é de 20 µg/L NO₃⁻.
- ***Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)***: A análise de DBO consiste em medidas da concentração de oxigênio dissolvido nas amostras, diluídas ou não, antes e após um período de incubação de 5 dias a 20° C. Durante este período ocorrerá redução no teor de oxigênio dissolvido da água, consumido para satisfazer as reações bioquímicas de decomposição de compostos orgânicos biodegradáveis.

Variáveis Hidrobiológicas

- **Clorofila a ($\mu\text{g/l}$):** Método da extração da clorofila e pigmentos com acetona. O procedimento é: filtração de 500 mL de água, em filtros de fibra de vidro Millipore AP 40, maceração, extração com acetona 90%, centrifugação e leitura em espectrofotômetro a 664, 665 e 750 nm. As amostras foram refrigeradas e protegidas do contato com a luz.

6.4. ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET)

Além da análise das diferentes variáveis, foi aplicado o Índice do Estado Trófico de Carlson (1977), modificado por TOLEDO et al. (1983). O Índice foi calculado para a região de lançamento dos esgotos tratados da ETE da cidade de Pereira Barreto, a partir de fórmulas que consideram as concentrações de clorofila a e fósforo total.

Foram utilizadas as seguintes equações:

$$\text{IET (P)} = 10 \{6 - [\ln (80,32 / \text{P}) / \ln 2]\};$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \{6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) / \ln 2]\}$$

onde:

P= concentração de fósforo total medida na superfície da água, em $\mu\text{g/L}$;

CL= concentração de clorofila a medida na superfície da água, em $\mu\text{g/L}$; e

ln= logaritmo natural

A expressão final do índice é a seguinte:

$$\text{IET} = [\text{IET (P)} + \text{IET (CL)}] / 2$$

onde, o IET é a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila a.

De acordo com os diferentes valores de IET as águas podem ser classificadas como: oligotróficas, mesotróficas, eutróficas e hipereutróficas. O critério para a classificação dessa região do reservatório de acordo com este índice é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Classificação do Estado Trófico segundo o Índice de Carlson Modificado.

Estado Trófico	Critério	P-total - P (mg.m ⁻³)	Clorofila <u>a</u> (mg.m ⁻³)	Classes do IET
Oligotrófico	IET = 44	P = 26,5	CL = 3,8	1
Mesotrófico	44 < IET = 54	26,5 < P = 53,0	3,8 < CL = 10,3	2
Eutrófico	54 < IET = 74	53,0 < P = 211,9	10,3 < CL = 76,1	3
Hipereutrófico	IET > 74	211,90 < P	76,1 < CL	4

Fonte: CETESB (2004).

6.5. TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados obtidos durante o estudo foram armazenados em planilhas eletrônicas do programa Excel (Windows XP) e analisados com base nos métodos estatísticos descritos a seguir:

6.5.1. Estatística Descritiva Básica

Para melhor avaliar a qualidade da água da região de estudo, como também do efluente final da ETE, foram efetuadas algumas análises estatísticas básicas sobre os dados levantados, como: amplitude, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação.

6.5.2. Testes Estatísticos

- **Teste de Postos com Sinais de Wilcoxon para Pares Combinados (Método Não-Paramétrico)**

Foi realizado por meio do programa Statdisk 9.1 para determinação das amostras e pontos de amostragem que apresentaram as diferenças significativas.

Os níveis de significância usados foram de $\alpha = 0,01$; $0,02$; $0,05$ e $0,10$. Deve-se mencionar que foram usados vários níveis de significância, tendo em vista as diferentes variáveis comparadas. O uso de diferentes níveis de significância foi visto em outros trabalhos científicos como o de FUZIY (2001).

As notações utilizadas neste teste são as seguintes:

T = é a menor soma dos valores absolutos dos postos negativos ou dos postos positivos.

d = para cada par de dados, a diferença d é obtida, subtraindo o segundo valor do primeiro.

n = é o número de pares de dados para os quais a diferença d não é zero.

As hipóteses nula e alternativa são:

H_0 : Não há diferença entre as concentrações das amostras nos pontos de coleta.

H_1 : Há uma diferença entre as concentrações das amostras nos pontos de coleta.

Estatística de teste: Se $n \leq 30$, a estatística de teste é T .

Valor crítico: Se $n \leq 30$, como é o nosso caso, o valor crítico de T é encontrado na Tabela 17, em anexo.

Decisão: Quando a estatística de teste T é menor ou igual ao valor crítico, rejeita-se H_0 , em caso contrário, deixa-se de rejeitar a hipótese nula.

- **Análise de Componentes Principais (ACP)**

Esta análise foi realizada por meio do programa “Statistica for Windows” versão 6.0, e aplicada para a categoria de dados (características físicas, químicas e hidrobiológicas) a partir de uma matriz de correlação. A matriz foi montada de forma multivariada, com s linhas representando os pontos de amostragem (objetos), e n colunas representando as variáveis (descritores).

A ACP é realizada por combinações lineares de variáveis, visando identificar quais combinações de variáveis são responsáveis pelas maiores proporções de variância de dados.

As componentes foram aproximadas desprezando aquelas com correlações, em módulo, menor que 0,700, com o objetivo de facilitar a interpretação físico-química.

- **Análise de Agrupamento (Cluster)**

A partir dos dados, foi realizada a análise de agrupamento do tipo Cluster, utilizando-se o método de Ward's e a distância euclidiana. Esta análise foi realizada por meio do programa “Statistica for Windows” versão 6.0. Este método fornece índices de similaridade entre as amostras e as variáveis que são representadas por meio de dendrogramas.

7. RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos da água (temperatura, turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, nutrientes e clorofila a) do reservatório de Três Irmãos estão apresentados nas Figuras 12 a 31 e na Tabela 9 a seguir.

Quanto à análise estatística descritiva realizada, os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 17 a 27, em anexo.

Deve-se mencionar que devido a problemas no aparelho medidor de oxigênio (WTW OXI 3151, com sonda de medida WTW CELLOX 325), os dados de oxigênio dissolvido nas amostras de água e esgoto de Outubro/2004 foram desconsiderados. A concentração de oxigênio dissolvido da amostra de esgoto de Dezembro/2004 não foi registrada, devido à quebra do frasco de vidro utilizado na coleta.

Outra questão a ser mencionada, relaciona-se a seleção do ponto à montante do lançamento dos esgotos sanitários da ETE da cidade de Pereira Barreto (Ponto B) que foi definido após a 1ª coleta. Considerou-se importante comparar os resultados das análises relativas à qualidade das águas no reservatório de Três Irmãos, com e sem a influência dos despejos da estação de tratamento de esgotos contendo nitrato de amônio para controle de odor.

7.1. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

7.1.1. Precipitação Pluviométrica (mm)

Os dados de precipitação mensal (Tabela 9) apresentados a seguir foram obtidos pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas- CIIAGRO on line.

Tabela 9- Valores mensais de precipitação pluviométrica acumulada (mm), no período de estudo na região do reservatório de Três Irmãos.

Período (mês/ano)	Precipitação (mm)
Outubro/04	158,8
Dezembro/04	160,2
Fevereiro/05	5,0
Abril/05	47,4
Junho/05	35,8
Agosto/05	3,8

Disponível em: <http://ciiagro.iac.sp.gov.br>

7.1.2. Temperatura do Ar (°C)

Durante todo o período de estudo a temperatura do ar oscilou entre 16° C a 34° C. Conforme os dados apresentados na Figura 12, os valores de temperatura registrados mantiveram uma tendência sazonal com maiores valores compreendidos nos meses de verão e os menores associados aos meses de inverno.

Figura 12- Variação da temperatura do ar (°C) nos cinco pontos de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.2. CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA DO RESERVATÓRIO

7.2.1. Profundidade (m)

A profundidade entre os pontos de coleta no reservatório variou de 3,30 m no ponto **1** no mês de Dezembro/2004 a 7,0 m nos pontos **B** (Junho/2005) e **4** (Fevereiro e Abril/2005).

7.3. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA

7.3.1. Temperatura da Água (°C)

As variações de temperatura na superfície (**S**), meio (**M**) e fundo (**F**) do local de estudo no reservatório estão apresentadas na Figura 13. Os valores seguem as oscilações naturais da temperatura do ar, conforme seus aspectos de sazonalidade.

Os perfis verticais obtidos estão apresentados nas Figuras 14 a 18. As oscilações verticais (diferenças entre superfície e fundo) atingiram os maiores valores em Agosto/2005 nos pontos **4** (3,0 °C; profundidade de 5,7 m) e **2** (2,0 °C; profundidade de 4,0 m). Nos meses de Outubro/2004, Abril e Junho/2005, verifica-se uma maior homogeneidade da coluna d'água, ocorrendo uma mistura das camadas mais profundas, com a formação de um gradiente térmico mínimo. O maior valor de temperatura na superfície foi de 30,5 °C nos pontos **B** e **4** nos meses de Fevereiro e Abril/2005, respectivamente, e o menor foi de 20,0 °C no ponto **1** em Agosto/2005. No fundo, a maior temperatura foi de 30,5 °C no ponto **4** no mês de Abril/2005, e a menor 18,0 °C no ponto **4** em Agosto/2005.

Figura 13- Variação temporal da temperatura da água (°C) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 14- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto B de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 15- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 1 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 16- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 2 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 17- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 3 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 18- Perfis verticais de temperatura da água (°C) registrados no Ponto 4 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.2. Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Na Figura 19 estão registrados os valores obtidos nas coletas de superfície, meio e fundo. Para os teores de oxigênio dissolvido, os valores variaram de 4,0 mg/L (ponto **B**, fundo, Fevereiro/2005) a 8,60 mg/L (ponto **1**, superfície, Agosto/2005), sendo quase sempre registradas concentrações mais elevadas na superfície. A média de oxigênio dissolvido foi de 7,42 mg/L na superfície e de 6,63 mg/L no fundo. Observa-se que os valores de oxigênio dissolvido tenderam a um aumento em Junho e Agosto/2005 (acima de 7,0 mg/L).

Os perfis de oxigênio dissolvido estão apresentados nas Figuras 20 a 24. Pela análise destes, observou-se um padrão de estratificação dos valores de oxigênio dissolvido na coluna d'água, praticamente em todos os pontos de coleta ao longo do período em estudo. Os perfis de estratificação deste parâmetro foram mais acentuados nos meses de Dezembro de 2004, Fevereiro e Abril de 2005.

Figura 19- Teores de oxigênio dissolvido (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite mínimo (L. mín.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 20- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto B de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 21- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 1 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 22- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 2 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 23- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 3 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

Figura 24- Perfis verticais de oxigênio dissolvido (mg/L) registrados no Ponto 4 de coleta, durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.3. pH

Os valores de pH oscilaram de 6,6 (ponto **1**, superfície, Junho/2005) a 8,54 (ponto **3**, à meia profundidade, Outubro/2004), e podem ser vistos na Figura 25.

Os resultados obtidos para o pH, nos cinco pontos de coleta não demonstraram variação sazonal, durante o período de estudo. Constatou-se que os valores registrados de pH indicaram a ocorrência de águas tipicamente alcalinas. Observam-se valores próximos de pH entre as profundidades amostradas. A média de pH foi de 7,60 na superfície e de 7,65 no fundo. Todos os valores de pH obtidos oscilaram entre 6 e 9.

Figura 25- Valores de pH nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com os Limites máximo e mínimo (L. máx. e L. mín.) preconizados pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.4. Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

As variações de condutividade elétrica obtidas podem ser visualizadas na Figura 26. A condutividade não mostrou um padrão sazonal definido no presente estudo, pois se verificou baixa condutividade em Jun./05 e altos valores em Ago./05, durante a estação seca.

A menor condutividade foi de 126,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto **3**, à meia profundidade em Abril/2005, e a maior foi 181,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto **3**, à meia profundidade em Ago./2005.

Os valores de condutividade obtidos nesta região do Reservatório de Três Irmãos (antigo Córrego Pederneiras), são todos superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 26- Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.5. Turbidez (UNT)

Os valores de turbidez (Figura 27) variaram de 1,0 UNT (pontos **B** e **2**, superfície, Abril/2005) a 22,0 UNT (ponto **4**, fundo, Fevereiro/2005).

Foi observado que existe o predomínio de níveis mais elevados de turbidez nas coletas de fundo. A média dos teores nas amostragens de superfície foi de 2,1 unidades, contra 2,8 unidades nas amostras de fundo.

No período chuvoso (média outubro a março: 3,2 UNT), verificou-se valores mais elevados de turbidez em relação ao período de estiagem (média abril a setembro: 1,5 UNT).

Figura 27- Valores de turbidez (UNT) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.6. Concentrações de Nutrientes

7.3.6.1. Fósforo Total (mg/L)

Para o fósforo total os valores obtidos estão apresentados na Figura 28.

As concentrações situaram-se na faixa de $< LD$ mg/L (ponto **B**, à meia profundidade e fundo, Abril/2005) a 1,260 mg/L (ponto **4**, à meia profundidade, Outubro/2004).

Observou-se diferença de valores entre superfície (média = 0,03907 mg/L) e fundo (média = 0,084206 mg/L), com a obtenção de maiores valores na coleta de fundo.

Verificou-se que as maiores concentrações ocorreram durante os meses de Outubro e Dezembro de 2004, e Junho de 2005, enquanto baixos valores foram registrados durante os meses de Abril e Agosto de 2005.

Figura 28- Concentrações de fósforo total (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparadas com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.6.2. Nitrogênio Amoniacal (mg/L)

O nitrogênio amoniacal apresentou concentrações variando de 0,112 mg/L (pontos **2** e **4**, superfície, Junho/2005 e Outubro/2004, respectivamente) a 1,68 mg/L (ponto **1**, fundo, Fevereiro/2005) (Figura 29).

Observa-se uma predominância de concentrações mais elevadas no fundo quando comparadas com a superfície, em todos os pontos de coleta ao longo do período em estudo.

Os valores médios de nitrogênio amoniacal foram de 0,396 mg/L na superfície e de 0,617 mg/L no fundo.

As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal foram obtidas no ponto **1**.

Figura 29- Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo. Reservatório de Três Irmãos.

7.3.6.3. Nitrogênio Nitrato (mg/L)

Com relação ao nitrogênio nítrico (Figura 30), as concentrações situaram-se na faixa de 0,010 mg/L (ponto **4**, superfície, Abril/2005) a 1,770 mg/L (ponto **3**, fundo, Fevereiro/2005).

A representação gráfica dos resultados não demonstrou variação temporal em suas concentrações ao longo do estudo.

Observam-se valores de nitrato quase sempre mais elevados no fundo do reservatório quando comparados com a superfície. A média de nitrato é de 0,619 mg/L na superfície e de 0,707 mg/L no fundo.

As maiores concentrações de nitrato ocorreram no mês de Agosto de 2005, enquanto que as menores foram registradas no mês de Dezembro de 2004.

Figura 30- Valores de nitrogênio nítrico (mg/L) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.

7.4. VARIÁVEIS HIDROBIOLÓGICAS DA ÁGUA

7.4.1. Clorofila a (µg/L)

Como pode ser observado na Figura 31, os resultados obtidos para as concentrações de clorofila a do local de estudo variaram de zero mg/L no período seco a 38,491 mg/L no período chuvoso.

Os valores relativos à clorofila a demonstraram que as maiores concentrações ocorreram no período de chuvas (Outubro/2004, Dezembro/2004 e Fevereiro/2005). Os valores foram de 38,491 µg/L (à meia profundidade) e 31,541 µg/L (no fundo) no ponto **1** em Outubro/2004.

As menores concentrações estiveram compreendidas nos meses marcados por seca (Abril/2005, Junho/2005 e Agosto/2005).

Observou-se um padrão temporal na distribuição da clorofila a durante o período de estudo.

Figura 31- Valores de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) nos cinco pontos de coleta e nas diferentes profundidades (S-superfície, M-meio, F-fundo), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) preconizado pelo CONAMA 357/05. Reservatório de Três Irmãos.

7.5. AVALIAÇÃO DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE- PEREIRA BARRETO QUANTO AO SEU GRAU DE TROFIA

Os resultados referentes à classificação do estado trófico, segundo o Índice de Carlson Modificado, para os cinco pontos de coleta da região de estudo, estão apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12.

Analisando os resultados do índice do estado trófico para o fósforo total, observa-se que todas as estações de coleta apresentaram características de sistemas oligotróficos, mesotróficos e eutróficos durante o período de estudo. Nota-se também que no período chuvoso (outubro a março), os pontos de amostragem foram classificados de mesotróficos e eutróficos.

Já no período de estiagem (abril a setembro), a maioria dos pontos de coleta caracterizou-se como oligotrófico. Vale ressaltar que todos os pontos amostrados em Abril/05 ficaram classificados como oligotróficos.

Em relação ao índice do estado trófico para a clorofila a, verifica-se que no período chuvoso os pontos de amostragem enquadram-se entre mesotrófico e eutrófico. De modo geral, condições eutróficas foram comuns nos meses de Outubro e Dezembro de 2004. Todas as estações de coleta nos meses de Abril, Junho e Agosto de 2005 (período de seca) apresentaram características de sistema oligotrófico.

Porém quando se considera somente o ET médio, observa-se que os pontos de amostragem apresentam um padrão variando entre eutrófico e mesotrófico, nos meses de Outubro/2004, Dezembro/2004 e Fevereiro/2005.

Nos meses de Abril, Junho e Agosto de 2005 condições oligotróficas foram comuns nos pontos amostrados, com exceção das estações BS e P1S em Agosto/2005 que foram classificadas como mesotróficas.

Tabela 10- Valores do índice do estado trófico para o fósforo total (IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de Coleta	out/04		dez/04		fev/05		abr/05		jun/05		ago/05	
	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET
BS	—	—	46	M	59	E	0	O	55	E	53	M
P1 S	50	M	62	E	46	M	0	O	54	M	49	M
P2 S	48	M	46	M	62	E	13	O	54	M	42	O
P3 S	48	M	59	E	46	M	13	O	57	E	40	O
P4 S	50	M	59	E	46	M	0	O	53	M	40	O
Máx.	50		62		62		13		57		53	
Mín.	48		46		46		0		53		40	
Média	49,0		54,4		51,8		5,2		54,6		44,8	

O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico

Tabela 11- Valores do índice do estado trófico para a clorofila a (IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de Coleta	out/04		dez/04		fev/05		abr/05		jun/05		ago/05	
	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET
BS	—	—	55	E	52	M	25	O	31	O	36	O
P1 S	63	E	62	E	53	M	25	O	31	O	44	O
P2 S	60	E	63	E	53	E	41	O	25	O	31	O
P3 S	58	E	63	E	49	M	31	O	25	O	31	O
P4 S	53	M	61	E	55	E	36	O	31	O	38	O
Máx.	63		62		55		41		31		44	
Mín.	53		55		49		25		25		31	
Média	58,5		60,8		52,4		31,6		28,6		36,0	

O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico

Tabela 12- Valores do índice do estado trófico médio (IET) e estado trófico (ET), nos pontos de coleta do reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de Coleta	out/04		dez/04		fev/05		abr/05		jun/05		ago/05	
	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET	IET	ET
BS	—	—	50,5	M	55,5	E	12,5	O	43,0	O	44,5	M
P1 S	56,5	E	62,0	E	49,5	M	12,5	O	42,5	O	46,5	M
P2 S	54,0	M	54,5	E	57,5	E	27,0	O	39,5	O	36,5	O
P3 S	53,0	M	61,0	E	47,5	M	22,0	O	41,0	O	35,5	O
P4 S	51,5	M	60,0	E	50,5	M	18,0	O	42,0	O	39,0	O
Máx.	56,5		62,0		57,5		27,0		43,0		46,5	
Mín.	51,5		50,5		47,5		12,5		39,5		35,5	
Média	53,8		57,6		52,1		18,4		41,6		40,4	

O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico

7.6. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS DE PEREIRA BARRETO

Os resultados das análises e determinações físico-químicas e biológicas do efluente estão apresentados nas Figuras 32 a 41.

Os parâmetros analisados foram: Temperatura, Turbidez, Condutividade, pH, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Clorofila a e Demanda Bioquímica de Oxigênio.

A **temperatura** das amostras de efluente na saída do sistema oscilou entre 19,0 e 32,5 °C. Os valores registrados encontram-se de acordo com a Resolução CONAMA que estabelece para esse parâmetro **temp. < 40 °C**.

Figura 32- Variações da temperatura do efluente (°C) registradas na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparadas com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.

A **condutividade elétrica** está associada à concentração de sólidos dissolvidos, portanto quanto maior a concentração de sólidos dissolvidos, maior a condutividade. Quanto a esse parâmetro, o CONAMA não estabelece índices máximos. Os valores obtidos são elevados variando de 791,0 a 1023,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 33- Valores de condutividade do efluente ($\mu\text{S}/\text{cm}$) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

Os valores de *turbidez* encontrados variaram de 16,4 a 41,0 UNT na saída do tratamento. Esses resultados apresentam-se bem inferiores ao limite de **100 UNT** da Classe 2, conforme o CONAMA. Incluindo o corpo receptor.

Figura 34- Valores de turbidez do efluente (UNT) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

O *pH* na saída da lagoa facultativa esteve entre **5,0** e **9,0**, exatamente o que preconiza a legislação vigente.

Figura 35- Teores de pH do efluente registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com os Limites máximo e mínimo (L. máx. e L. mín.) estabelecidos pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.

Oxigênio dissolvido, a Resolução CONAMA 357/2005 definiu o teor mínimo de **5 mg/L O₂** para águas da Classe 2, observa-se pelos resultados obtidos que os valores na saída do sistema estão acima do determinado por essa resolução, exceto para o mês de Ago./2005 que apresentou uma concentração de 3,0 mg/L.

Figura 36- Teores de oxigênio dissolvido do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

Os valores de **fósforo total** variaram de 1,02 a 12,20 mg/L. Os resultados demonstram uma concentração bem acima do limite permitido pela legislação que é de **0,030 mg/L**.

Figura 37- Teores de fósforo total do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

O *nitrogênio amoniacal* apresentou concentrações variando de 7,5 a 31,0 mg/L. Os teores obtidos para os meses de Outubro/2004, Abril, Junho e Agosto/2005, situam-se acima do limite de **20 mg/L**, conforme o CONAMA.

Figura 38- Valores de nitrogênio amoniacal do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo CONAMA 357/05. ETE de Pereira Barreto.

O limite máximo de *nitrito* permitido pela resolução 357/2005 do CONAMA para águas da Classe 2, é de **10 mg/L**. Pelos resultados obtidos na saída do sistema, podemos observar que as concentrações estão bem inferiores ao limite máximo exigido.

Figura 39- Valores de nitrogênio nítrico do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

Os teores de *clorofila a* na saída do tratamento oscilaram entre 47,045 a 505,192 $\mu\text{g/L}$. Os valores mais baixos foram os dos meses de Abr. e Jun./2005.

Figura 40- Teores de clorofila *a* do efluente ($\mu\text{g/L}$) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo. ETE de Pereira Barreto.

A *d demanda bioquímica de oxigênio* verificada na maior parte das coletas realizadas, foi muito superior ao limite de **60 mg/L** estipulado pela legislação do Estado de São Paulo, Decreto N° 8.468/1976 (Artigo 18).

Figura 41- Valores de demanda bioquímica de oxigênio do efluente (mg/L) registrados na saída da lagoa facultativa (caixa de saída 2), durante o período de estudo, comparados com o Limite máximo (L. máx.) estabelecido pelo Decreto nº 8.468/1976. ETE de Pereira Barreto.

7.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA– ÁGUA E ESGOTO

7.7.1. Teste de Wilcoxon

O teste de postos com sinais de Wilcoxon foi efetuado para as nove variáveis limnológicas analisadas (temperatura, condutividade, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato e clorofila *a*) para comparação das amostras coletadas nas três diferentes profundidades (superfície, à meia profundidade e fundo), e também, nos seis pontos de amostragem (B, P1, P2, P3, P4 e P5).

7.7.1.1. Análise das Características Limnológicas entre as Diferentes Profundidades

Com a aplicação deste teste não paramétrico verificou-se que no ponto P1 existe diferença significativa entre as concentrações de oxigênio dissolvido ($P1S \times P1F$, $\alpha=0,10$) obtidas à superfície e no fundo do lago. Tal fato pode ser atribuído ao resultado de processos oxidativos no hipolímnio, devido o grande aporte de matéria orgânica representado principalmente pelo esgoto doméstico oriundo da ETE de Pereira Barreto.

Neste mesmo local, as amostras trazem evidência de que as concentrações de nitrato ($P1S \times P1M$, $\alpha=0,05$) à superfície e à meia profundidade são diferentes, como também, as concentrações de fósforo total ($P1M \times P1F$, $\alpha=0,10$) à meia profundidade e fundo. O efluente final tratado é lançado no corpo receptor através de um emissário no fundo do reservatório neste ponto P1, é possível que devido a isso, os teores de nutrientes registrados na sua parte inferior tenham sido um pouco mais elevados que os da superfície.

7.7.1.2. Análise das Características Limnológicas entre os Diferentes Pontos Amostrais

O teste de Wilcoxon para dados pareados apontou a existência de diferença significativa dos resultados de temperatura ($P1 \times P2$, $\alpha=0,10$; $P1 \times P3$, $\alpha=0,01$) e turbidez ($P1 \times P2$, $\alpha=0,01$; $P1 \times P3$, $\alpha=0,10$) do ponto P1 em relação aos pontos P2 e P3. No ponto de lançamento (P1), a água apresenta valores de temperatura ligeiramente superiores aos demais locais de coleta (P2 e P3), devido à influência dos esgotos, cuja temperatura de emissão está em torno dos 33 ° C. Neste mesmo ponto, a turbidez da água se apresenta mais elevada em relação aos outros dois pontos, devido aos sólidos em suspensão introduzidos pelo esgoto.

As concentrações de amônia ($P1 \times P3$, $\alpha=0,01$; $P1 \times P4$, $\alpha=0,01$) e clorofila a ($P1 \times P3$, $\alpha=0,02$; $P1 \times P4$, $\alpha=0,01$) revelaram ser significativas entre os pontos P1 e P3, como também, entre os pontos P1 e P4. No ponto de mistura, as concentrações de amônia e clorofila a foram mais elevadas que nos pontos P3 e P4. Este fato está associado aos altos teores também obtidos dessas características no efluente final.

A análise estatística para a variável pH ($P1 \times P2$, $\alpha=0,01$; $P1 \times P3$, $\alpha=0,10$; $P1 \times P4$, $\alpha=0,01$) indicou diferença significativa do ponto P1 em relação aos pontos P2, P3 e P4. No ponto de lançamento, os valores de pH foram ligeiramente menores que os obtidos nos Pontos P2, P3 e P4. Isto pode ter ocorrido devido à oxidação biológica da amônia a nitrato.

O teste estatístico registrou que existe diferença significativa dos valores de turbidez ($B \times P2$, $\alpha=0,01$; $B \times P3$, $\alpha=0,10$) do ponto B em relação aos pontos P2 e P3. Verificou-se também que as concentrações de clorofila a ($B \times P1$, $\alpha=0,01$; $B \times P2$, $\alpha=0,01$; $B \times P4$, $\alpha=0,05$) do ponto B em relação aos pontos P1, P2 e P4 são diferentes.

À montante do lançamento dos despejos (Ponto B) os valores de turbidez da água foram ligeiramente mais elevados que nos pontos P2 e P3. Tal fato pode ter sido causado pelo aporte contínuo de materiais particulados em suspensão, provenientes da erosão das margens do entorno do reservatório, principalmente na estação chuvosa. A erosão pode decorrer do mau uso do solo, em que se impede a fixação da vegetação. Quanto à clorofila a, as concentrações determinadas no ponto B foram um pouco mais baixas quando comparadas aos Pontos P1, P2 e P4. Isto pode estar relacionado com o aumento da turbidez neste local de coleta que dificulta a penetração da luz no corpo d'água, tornado assim, rara a presença de algas.

A Tabela 13 apresenta um resumo dos resultados obtidos com o teste de Wilcoxon.

Tabela 13- Resultados do teste de Wilcoxon para dados pareados, referente à análise das variáveis limnológicas entre as três diferentes profundidades e entre os seis pontos de coleta.

Parâmetros	Pontos de coleta	Nível de significância	Números de pares	Estatística de Teste, T	Valor Crítico de T	Decisão
Temperatura	P1xP2	0,10	15	27,0	30	Rejeita-se Ho
	P1xP3	0,01	15	13,5	16	Rejeita-se Ho
Turbidez	BxP2	0,01	11	0,0	5	Rejeita-se Ho
	BxP3	0,10	14	26,0	26	Rejeita-se Ho
	P1xP2	0,01	15	8,0	16	Rejeita-se Ho
	P1xP3	0,10	17	37,0	41	Rejeita-se Ho
pH	P1xP2	0,01	18	9,0	28	Rejeita-se Ho
	P1xP3	0,10	18	9,5	28	Rejeita-se Ho
	P1xP4	0,01	18	6,0	28	Rejeita-se Ho
Oxigênio Dissolvido	P1SxP1F	0,10	5	1,0	1	Rejeita-se Ho
Fósforo total	P1MxP1F	0,10	5	1,0	1	Rejeita-se Ho
Nitrogênio amoniacal	P1xP3	0,01	15	12,0	16	Rejeita-se Ho
	P1xP4	0,01	15	7,0	16	Rejeita-se Ho
Nitrato	P1SxP1M	0,05	6	0,0	1	Rejeita-se Ho
Clorofila <u>a</u>	BxP1	0,01	14	12,5	13	Rejeita-se Ho
	BxP2	0,01	14	10,5	13	Rejeita-se Ho
	BxP4	0,05	13	14,0	17	Rejeita-se Ho
	P1xP3	0,02	18	29,5	40	Rejeita-se Ho
	P1xP4	0,01	15	14,0	16	Rejeita-se Ho

7.7.2. Análise Estatística Multivariada

7.7.2.1. Análise de Componentes Principais- ACP

Por uma análise de componentes principais preliminar, foi possível determinar as variáveis que se mostraram relevantes (com maior peso “loadings”) na distribuição dos dados. Seus valores de correlação (correlação entre as componentes principais e as variáveis) estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14- Resultados da análise de componentes principais preliminar.

Variáveis analisadas	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Temperatura	0,220324	- 0,845891	0,129299	- 0,294899
Condutividade	0,969566	0,166753	- 0,041531	- 0,011519
Turbidez	0,899041	- 0,006799	- 0,130745	- 0,017759
pH	0,506518	- 0,205020	0,607100	- 0,368816
O. D.	- 0,098884	0,593402	0,744760	- 0,009311
Fósforo Total	0,884272	0,116968	- 0,007885	- 0,160879
N-amoniaco	0,921033	0,184636	- 0,012248	0,049482
N-Nitrato	- 0,308195	0,436376	- 0,420971	- 0,730054
Clorofila a	0,879314	0,061786	- 0,245675	0,170231
Variância explicada	4,561629	1,379557	1,196560	0,813813
Porcentagem da variância explicada	50,6848	15,3284	13,2951	9,0424

Nota:

- Valores em vermelho, coeficiente de correlação acima de 0,7000.

As variáveis com maior peso se encontram na combinação linear dos componentes 1 e 2. Cabe mencionar que as variáveis originais com maior peso na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico (NETO e MOITA, 1997).

A porcentagem total explicada pelos dois componentes foi de 66,012%.

A primeira componente é composta pela condutividade, turbidez, fósforo total, amônia e clorofila *a* (todas com cargas superiores a 0,700). A segunda componente é composta pela temperatura com carga negativa.

Variáveis que apresentaram baixos valores de correlação, como é o caso do pH (todas as cargas inferiores a 0,700), não precisam ser consideradas na análise dos resultados das duas primeiras componentes principais.

A figura 42, mostra a distribuição dos pontos das variáveis originais escolhidas (componentes 1 e 2). Note que as variáveis com maiores pesos na componente principal 1, estão agrupadas juntas no lado direito do gráfico. O ponto representando a temperatura está sozinho, com valor negativo na componente principal 2.

Figura 42- Distribuição dos pontos das variáveis originais escolhidas (componentes 1 e 2).

A seguir são apresentados os resultados das análises de componentes principais utilizando os locais de amostragem, as profundidades de coleta e os períodos de amostragem como variáveis a serem discriminadas.

- **Características Limnológicas- Locais de Amostragem:** Reservatório- Local 0 (Ponto B); Local 1 (P1); Local 2 (P2); Local 3 (P3) e Local 4 (P4); ETE-Pereira Barreto- Local 5 (P5).

A análise de componentes principais realizada com as variáveis físicas, químicas e hidrobiológicas, utilizando os locais de amostragem como variável a ser discriminada, revelou claramente haver diferença entre os pontos amostrais da região de estudo no reservatório e o ponto de coleta do esgoto.

Na figura 43, se indica a distribuição dos pontos amostrados a partir da análise de componentes principais para o período de Out./04 a Ago./05.

Figura 43- Ordenação dos pontos de amostragem para o período de estudo, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.

Os dois eixos explicam conjuntamente 66,012% da variabilidade dos agrupamentos, sendo que o eixo das abscissas é responsável pela explicação de 50,684% e o eixo das ordenadas de 15,328%.

Como se pode observar na figura 43, o fator 1 (eixo das abscissas), separou os locais de coleta em 2 grupos, um correspondente ao local 5 e outro representando os demais pontos de coleta, que correspondem aos locais 0, 1, 2, 3 e 4.

Analisando a tabela 15, onde se encontram os valores das variáveis analisadas, tem-se que no fator 1, responsável pela explicação de 50,684% do agrupamento, as variáveis que melhor explicam a separação entre o ponto P5 e os outros pontos de coleta são: condutividade, turbidez, fósforo total, nitrogênio amoniacal e clorofila *a*, evidenciando que a distinção entre os grupos formados na análise é explicada por uma amostra ser de efluente final tratado (com valores altos destas variáveis) e as outras de água à montante e jusante do lançamento.

No eixo das ordenadas, fator 2, o segundo fator principal apresentou percentual de 15,328%, sendo composto apenas pelos dados de temperatura, com carga negativa de (-0,845). Segundo este eixo, os locais de amostragem no reservatório não apresentaram um padrão de distribuição bem definido em relação a esse fator. Tal fato indica que praticamente não houve variação nos valores de temperatura da água entre os pontos de amostragem do local 5 e aqueles dos locais 0 a 4 durante o período de estudo.

Tabela 15- Correlação (coeficiente de correlação $> 0,7000$) das variáveis analisadas com os fatores principais 1 e 2, e variância explicada, no período de Out./04 a Ago./05.

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Temperatura		- 0,845
Condutividade	0,969	
Turbidez	0,899	
Fósforo Total	0,884	
Nitrogênio Amonical	0,921	
Clorofila <u>a</u>	0,879	
% da variância explicada	50,684	15,328
% total da variância explicada	66,012	

- **Características Limnológicas- Locais de Amostragem:** Reservatório- Local 0 (Ponto B); Local 1 (P1); Local 2 (P2); Local 3 (P3) e Local 4 (P4).

Os dados do local 5 foram retirados da análise para verificarmos se existe padrões ou diferenças entre os locais 0 a 4. A figura 44, mostra a distribuição dos pontos de coleta no reservatório a partir da análise de componentes principais, para o período de estudo.

Figura 44- Ordenação dos pontos de amostragem no reservatório para o período de estudo, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.

Neste gráfico observa-se claramente que os pontos de amostragem no reservatório apresentaram-se dispersos e não mostraram tendência de ordenação em relação aos fatores 1 e 2.

A tabela 16 mostra as variáveis utilizadas na presente análise, juntamente com seus coeficientes de correlação.

Tabela 16- Correlação (coeficiente de correlação $> 0,7000$) das variáveis analisadas com os fatores principais 1 e 2, e variância explicada, no período de Out./04 a Ago./05.

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Temperatura		-0,700
Oxigênio dissolvido		0,854
nitrito	-0,831	
Clorofila <u>a</u>	0,777	
% da variância explicada	26,305	22,121
% total da variância explicada	48,426	

As variáveis que melhor explicaram o primeiro fator com 26,305% foram compostas pelo nitrito (-0,831) e clorofila a (0,777). O segundo fator principal apresentou um percentual de explicação de 22,121%, sendo composto pelos dados de temperatura (-0,700) e oxigênio dissolvido (0,854). A percentagem total explicada pelos dois fatores foi de 48,426%.

- **Características Limnológicas- Profundidades de Coleta: prof=1 (superfície), prof=2 (meia profundidade), e prof=3 (fundo).**

A análise de componentes principais para as nove variáveis analisadas sobre as profundidades de coleta foi realizada, e foram mantidas as duas primeiras componentes que correspondem a 48,426% da variância total.

A primeira componente mantém 26,305% da informação contida nos dados e foi composta pelo nitrito e clorofila a. A segunda componente analisada apresenta

percentual de explicação de 22,121%, correspondendo à temperatura e oxigênio dissolvido.

Na figura 45 está apresentada a distribuição das três diferentes profundidades de coleta em função dos fatores.

Figura 45- Ordenação das três diferentes profundidades de coleta, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.

Pode-se verificar que as três diferentes profundidades de coleta (superfície, meia profundidade e fundo) não apresentaram um padrão de ordenação bem definido em relação a essas componentes.

- **Características Limnológicas- Meses de Coleta: Mês=2 (Fev./05), Mês=4 (Abr./05), Mês=6 (Jun./05), Mês=8 (Ago./05), Mês=10 (Out./04) e Mês=12 (Dez./04).**

A análise de componentes principais para as características limnológicas analisadas sobre os meses de coleta foi realizada, e foram mantidos os fatores 1 (nitrato e clorofila a) e 2 (temperatura e oxigênio dissolvido).

A ordenação dos meses de coleta segundo as variáveis analisadas está apresentada na figura 46.

Figura 46- Ordenação dos meses de coleta, pela análise de componentes principais para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 e 2.

Em relação ao fator 1, destacaram-se os meses 10 (Out./04) e 12 (Dez./04) que se apresentaram próximos entre si, e se associaram positivamente com a clorofila a.

O mês 8 (Ago./05) associou-se negativamente ao fator 1, indicando que suas amostras possuem altos valores de nitrato e baixos valores de clorofila a.

Os meses de coleta 2 (Fev./05) e 4 (Abr./05), ordenaram-se próximos entre si, com seus escores negativos no fator 2. Com o fator 2 $[-0,700 (T) + 0,854 (O_2 \text{ dis.})]$, estas amostras têm temperaturas relativamente altas e valores de oxigênio dissolvido relativamente baixos. No outro lado, as amostras dos meses 8 e 10, têm temperaturas mais baixas e teores de oxigênio dissolvidos mais altos.

Já o mês 6 (Jun./05) mostrou uma associação negativa, embora próximo à origem, ao fator 2.

7.7.2.2. Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento do tipo cluster para as características limnológicas nos meses de coleta está apresentada na figura 47.

Figura 47- Análise de agrupamento dos meses de amostragem.

Foi possível verificar a existência de cinco agrupamentos dos meses de amostragem.

O agrupamento I foi formado pelos meses 10 e 12 (Out./04 e Dez./04). Os meses 2 e 4 (Fev./05 e Abr./05) formaram o grupo II. O agrupamento III foi formado pelo mês 8 (Ago./05). O mês 6 (Jun./05) formou o grupo IV. O agrupamento V apresentou os meses 4 e 10 (Abr./05 e Out./04).

Pode-se observar que o agrupamento dos meses amostrados obtidos nessa aplicação está coerente com o resultado da análise de componentes principais.

8. DISCUSSÃO

8.1. PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS DA ÁGUA DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE-PEREIRA BARRETO

A temperatura do ar é uma variável controlada em diversos estudos ambientais.

Os valores de temperatura do ar registrados durante a pesquisa, mantiveram uma tendência sazonal, com os maiores valores compreendidos nos meses de verão e os menores associados aos meses de inverno. Tal comportamento também foi observado por MINILLO (2005), durante estudos realizados no reservatório de Três Irmãos.

A temperatura da água é um parâmetro importante a ser considerado nos estudos limnológicos, pois influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas nos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988). O mesmo autor menciona que esta característica pode causar alterações na estrutura física da coluna d'água, promovendo a circulação ou a estratificação da água, alterando assim, a disponibilidade dos nutrientes.

A temperatura influi em uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30 °C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de

vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Segundo BRANCO (1991), a maior parte dos organismos (grupos termófilos, mesófilos, psicrófilos e psicrotróficos) possui faixas de temperatura ótimas para a sua reprodução.

A variação da temperatura da água no reservatório de Três Irmãos revelou um padrão sazonal, com temperaturas mais elevadas no período chuvoso e quente e menos elevadas no período frio e seco. Os valores de temperatura da água seguiram as oscilações naturais da temperatura do ar, conforme seus aspectos de sazonalidade. É importante destacar que em decorrência do elevadíssimo calor específico da água, os ambientes aquáticos apresentam quase sempre amplitudes térmicas inferiores àquelas obtidas na atmosfera.

Em relação aos perfis de temperatura, evidenciou-se a ocorrência de estratificação térmica, com termoclinas pouco acentuadas, nos pontos de coleta nos meses de Dezembro/2004 (primavera), Fevereiro/2005 (verão) e Agosto/2005 (inverno). ESTEVES (1998) menciona que em lagos de regiões tropicais, é comum a ocorrência de estratificação durante a primavera e verão.

As oscilações verticais (diferenças entre superfície e fundo) atingiram os maiores valores em Agosto/2005 nos Pontos 4 (3,0 °C; profundidade de 5,7 m) e 2 (2,0 °C; profundidade de 4,0 m). Segundo PAYNE (1986), oscilações verticais com apenas 0,5 °C, são suficientes para que se estabeleça estratificação térmica em ecossistemas aquáticos tropicais.

Nos meses de Outubro/2004 (primavera), Abril/2005 (outono) e Junho/2005 (outono), as variações de temperatura entre superfície e fundo foram mínimas, verificou-se uma maior homogeneização da coluna d'água, e rompimento da

termoclina na maioria dos pontos amostrados. MATSUMURA-TUNDISI et al. (1981) também observaram tal característica no reservatório de Três Irmãos.

Além da temperatura, a profundidade é um outro fator importante nos processos de estratificação e desestratificação em lagos. No presente estudo observa-se a ocorrência de estratificação fraca nos Pontos B e 4, nos períodos de inverno e verão, respectivamente, com o estabelecimento da termoclina na profundidade de 7,0 m. Segundo BRANCO (1986), lagos rasos, com menos de 7 a 8 metros de profundidade, não são estratificados.

A maioria dos reservatórios do estado de São Paulo são polimíticos, isto é, rasos e com grande extensão de área inundada, o que favorece a ação dos ventos, promovendo a mistura das massas de água e tornando-os homogêneos termicamente. Isto indica como o comportamento funcional desses reservatórios varia numa escala muito pequena de tempo. Portanto, é difícil estabelecer um padrão distinto de distribuição da variável temperatura no sentido vertical desses reservatórios.

O oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro de extrema relevância na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio são a atmosfera e a fotossíntese. Este elemento é essencial no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração do meio. Nas águas naturais, o oxigênio é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes, onde a maioria das espécies não resiste a concentrações inferiores a 4,0 mg/L. A concentração de OD é também essencial para a manutenção

de processos de autodepuração (XAVIER, 1979) em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Através de medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados.

Na região de estudo, as concentrações de oxigênio dissolvido oscilaram de 4,0 mg/L (Ponto B, fundo, Fevereiro/2005) a 8,60 mg/L (Ponto 1, superfície, Agosto/2005), sendo quase sempre registradas concentrações mais elevadas na superfície, onde ocorre a atividade fotossintética das algas, com conseqüente liberação de oxigênio. A média de OD foi de 7,42 mg/L na superfície e de 6,63 mg/L no fundo.

Observa-se também que os maiores teores de OD foram encontrados no período de inverno. O perfil deste gás na coluna d'água foi mais homogêneo, com ampla oxigenação nesse período, quando comparado com o período de verão, o que pode estar associado à influência da temperatura na dissolução de gases na água (lei de Henry), sendo maior a dissolução quanto menor for a temperatura da água. LEITE (2002), em estudos realizados no reservatório de Salto Grande, também verificou valores de OD acima de 7,0 mg/L, em Agosto de 2000.

Observou-se durante esse estudo um padrão de estratificação dos valores de oxigênio na coluna d'água, praticamente em todos os pontos de coleta. Os perfis de estratificação do oxigênio dissolvido foram mais acentuados nos meses de Dezembro/2004, Fevereiro e Abril/2005. Deve ser ressaltado que os meses de Dezembro/2004 e Fevereiro/2005 apresentaram estratificação química acompanhada de estratificação térmica. Já o mês de Abril/2005 apresentou desestratificação térmica e estratificação química. Segundo ESTEVES (1998), em lagos de regiões

tropicais, observa-se com frequência estratificação química independentemente de estratificação térmica.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados a condições de neutralidade; no entanto, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar o desaparecimento dos seres presentes na mesma (BRANCO, 1962).

O potencial hidrogeniônico pode exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes, como também, sofrer variações em função dos processos fotossintéticos, respiratórios e de decomposição (ESTEVES, 1988). O processo de decomposição e respiração interferem sobre o pH do meio, via de regra abaixando-o. Isto ocorre devido a liberação de CO_2 que ao reagir com a molécula da água, resulta na formação do ácido carbônico e íons de hidrogênio. Portanto, pH baixo sugere pouco consumo de CO_2 pelos organismos heterotróficos.

Na região de estudo do reservatório de Três Irmãos, os valores de pH oscilaram de 6,60 (estação seca) a 8,54 (estação chuvosa), caracterizando a ocorrência de águas tipicamente alcalinas. A grande maioria dos corpos d'água tem pH variando entre 6 e 8. O pH foi um pouco maior durante os meses de chuva. Este fato pode estar associado ao processo fotossintético de macrófitas aquáticas e algas. Situação semelhante foi também verificada por MINILLO (2005), em alguns dos reservatórios do rio Tietê.

Nesse estudo, o pH não apresentou um padrão sazonal definido, como foi também observado por LUZIA (2004) e MINILLO (2005).

“A condutividade elétrica constitui uma das variáveis mais importantes em Limnologia, visto que pode fornecer importantes informações tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático, como sobre fenômenos importantes que ocorram na sua bacia de drenagem” (ESTEVES, 1998). Segundo o mesmo autor, este parâmetro pode ser utilizado para indicar a presença de sais dissolvidos na água, processo de decomposição de matéria orgânica, processo de eutrofização em corpos d’ água, além de ajudar a detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos.

Durante o período de estudo, a variável condutividade não apresentou variação sazonal definida, com baixos e altos teores registrados durante a estação seca. Isto indica como o comportamento funcional do reservatório de Três Irmãos varia numa escala muito pequena de tempo, devido a fatores como climatológicos (vento, precipitação), sistemas operacionais da barragem, entre outros que influenciam no funcionamento dos processos ecológicos. LUZIA (2004) constatou situação semelhante nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

Os valores de condutividade encontrados nesse estudo variaram de 126,30 a 181,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acordo com MARGALEF (1986), as águas naturais, em geral, apresentam condutividade até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

LUZIA (2004) e MINILLO (2005), estudaram o reservatório de Três Irmãos e registraram valores de 105,0 a 108,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 105,0 a 138,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Verifica-se que os teores de condutividade obtidos foram mais elevados quando comparados aos trabalhos citados. Uma possível explicação para esta condição pode estar relacionada ao despejo de esgoto doméstico tratado da cidade de Pereira Barreto nesta região do reservatório.

A turbidez da água é a medida de sua capacidade em dispersar a radiação. A presença da turbidez nas águas naturais provoca a redução de intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo d'água, influenciando decisivamente nas características do ecossistema presente. Os principais responsáveis pela turbidez da água são as partículas suspensas, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, entre outras. As partículas quando sedimentadas, formam bancos de lodo onde a digestão anaeróbia leva a formação de gases metano e gás carbônico, além do nitrogênio gasoso e gás sulfídrico. “O movimento ascensional das bolhas de gás ocasiona o arraste de partículas orgânicas não totalmente degradadas, aumentando a demanda de oxigênio na massa líquida (demanda bentônica)” (PIVELI e KATO, 2005).

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (BRANCO, 1991).

No reservatório de Três Irmãos os valores de turbidez variaram de 1,0 UNT (Pontos B e 2, superfície, Abril/2005) a 22,0 UNT (Ponto 4, fundo, Fevereiro/2005). Observa-se que existe o predomínio de teores mais elevados de turbidez nas coletas de fundo, em decorrência da sedimentação das partículas suspensas e/ou dissolvidas na água. A média dos teores nas amostragens de superfície foi de 2,1 unidades, contra 2,8 unidades nas amostras de fundo.

Observa-se ainda a ocorrência de variação sazonal dos valores de turbidez, com valores mais elevados registrados no período chuvoso (média outubro a março:

3,2 UNT), em comparação com a época seca (média abril a setembro: 1,5 UNT). Segundo PAYNE (1986), em estações chuvosas, o aumento da turbidez é causado pelo aporte contínuo de materiais particulados em suspensão, advindos de escoamentos superficiais de água do entorno do reservatório.

Todos os valores situaram-se bastante abaixo do limite da classe 2 (100 UNT), conforme Resolução CONAMA 357/2005.

O fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Existe nos corpos de água na forma dissolvida e particulada. Geralmente é caracterizado como um nutriente crítico e determinante no grau de eutrofização de ecossistemas aquáticos. As fontes naturais de fósforo são principalmente as rochas (intemperismo) e a decomposição de matéria orgânica. Águas residuárias domésticas (particularmente contendo detergentes), efluentes industriais e fertilizantes (escoamento superficial), contribuem para a elevação dos teores de fósforo nas águas superficiais.

As concentrações de fósforo total no reservatório de Três Irmãos situaram-se na faixa de $< LD$ mg/L (Ponto B, à meia profundidade e fundo, Abril/2005) a 1,260 mg/L (Ponto 4, à meia profundidade, Outubro/2004).

Observou-se que as maiores concentrações coincidiram com o período de chuvas na região, o que pode ser um reflexo direto da intensificação do aporte de materiais alóctones, constituída principalmente por resíduos domésticos (proximidade com a ETE de Pereira Barreto) que chegam e são retidos no ambiente. Um outro fator que pode ter contribuído, são as atividades agropecuárias existentes

no entorno da região de estudo e no qual não há vegetação ciliar, ocorrendo, assim, a entrada mais intensa desse nutriente por meio de lixiviação do solo desprotegido.

Estudos anteriores realizados no reservatório de Três Irmãos por FRACÁCIO (2001) (0,017 a 0,0391 mg/L), LUZIA (2004) (0,00367 a 0,02129 mg/L) e MINILLO (2005) (0,02079 a 0,04687 mg/L) apresentaram concentrações de fósforo total abaixo das observadas no presente trabalho.

Observou-se diferença de valores entre superfície (média = 0,03907 mg/L) e fundo (média = 0,084206 mg/L), com a obtenção de maiores valores na coleta de fundo em época de estratificação da massa líquida. ESTEVES (1998) menciona que em ecossistemas tropicais é comum um aumento acentuado do conteúdo de fósforo no hipolímnio, especialmente nas fases de estratificação térmica, independentemente do nível de produção fitoplanctônica. Durante os períodos de circulação, a distribuição vertical do fósforo é mais uniforme.

Verificou-se que os teores registrados foram freqüentemente superiores ao limite estabelecido para a classe 2 (0,030 mg/L) podendo ser considerados como elevados.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São tidos como macronutrientes, pois após o carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. É também indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (eutrofização). No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas formas reduzidas (nitrogênio orgânico e amoniacal) e oxidadas (nitrito e nitrato). Em um corpo d'água, a determinação da

forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição (poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato).

O nitrogênio amoniacal é uma substância tóxica não persistente e não cumulativa e, sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais (PACKHAM, 1992). Altas concentrações de amônia podem ter grandes implicações ecológicas, influenciando a dinâmica do oxigênio dissolvido do meio e a comunidade de peixes (ESTEVES, 1998) (muitas espécies não suportam concentrações acima de 5mg/L [PIVELI e KATO, 2005]).

Os valores registrados para o nitrogênio amoniacal variaram de 0,112 mg/L (Pontos 2 e 4, superfície, Junho/2005 e Outubro/2004, respectivamente) a 1,68 mg/L (Ponto 1, fundo, Fevereiro/2005).

Observou-se uma predominância de concentrações mais elevadas no fundo quando comparadas com a superfície, em todos os pontos de coleta ao longo do período em estudo. A média de nitrogênio amoniacal foi de 0,396 mg/L na superfície e de 0,617 mg/L no fundo. Essas altas concentrações registradas nas coletas de fundo, são fortes indicativos da contaminação por despejos de esgotos domésticos provindos da estação de tratamento da cidade de Pereira Barreto, bem como da decomposição desta matéria orgânica acumulada no sedimento do lago (processo de amonificação).

Sazonalmente, verificaram-se valores menores nas concentrações de amônio no período de inverno, em relação aos do verão no local de estudo. As variações

encontradas entre os períodos podem estar associadas com a produção fitoplanctônica. Vale ressaltar que foram obtidos altos teores de clorofila *a* na estação chuvosa, o que podem estar relacionados às elevadas concentrações de amônio neste mesmo período. Tundisi et al. (1997) citado por MORETTO (2001), verificou padrão sazonal similar para o nitrogênio amoniacal nas lagoas Amarela, Ariranha, Aguapé e Águas Claras do Vale do Rio Doce (Minas Gerais).

O Nitrato é a principal forma de nitrogênio configurado encontrado nas águas naturais. As fontes naturais de nitrato nas águas superficiais incluem rochas ígneas, drenagem de solos e resíduos de animais e plantas. Em áreas rurais, o uso de fertilizantes podem ser uma fonte significativa. Níveis naturais raramente excedem 0,10 mg/L, mas podem ser elevados por efluentes domésticos e industriais (RODRÍGUEZ, 2001). Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que os organismos aquáticos, como algas, florescem na presença destes (BRANCO, 1964).

As concentrações de nitrato encontradas situaram-se na faixa de 0,010 mg/L (Ponto 4, superfície, Abril/2005) a 1,770 mg/L (Ponto 3, fundo, Fevereiro/2005). Esses valores mostram-se acima dos valores obtidos por MINILLO (2005) (0,04155 a 0,2276 mg/L) e LUZIA (2004) (0,29979 a 0,35363 mg/L) no mesmo reservatório, o que podem estar associados à contaminação por águas residuais domésticas (proximidade com a ETE de Pereira Barreto) e ainda, ao uso de fertilizantes nitrogenados (escoamento superficial) advindos das atividades agropecuárias existentes no entorno da região de estudo.

No período de verão, as concentrações de nitrato foram menores do que aquelas obtidas no inverno. Este fato pode estar relacionado a maior assimilação de nitrato no epilímnio pela comunidade fitoplanctônica. Cabe salientar que nessa mesma época foram registrados os maiores valores de clorofila *a* na região em estudo. Outro fator que pode explicar a ocorrência de valores menores de nitrato no verão está relacionado com o período de estratificação térmica da massa de água nos meses de Dezembro/2004 e Fevereiro/2005. De acordo com ESTEVES (1998) estudos realizados em lagos tropicais evidenciaram que durante o período de estratificação térmica as concentrações de nitrato são mais baixas do que durante o período de circulação, tanto no epilímnio como no hipolímnio.

No presente trabalho, foram observados valores de nitrato quase sempre mais elevados no fundo do reservatório quando comparados com a superfície. A média de nitrato é de 0,619 mg/L na superfície e de 0,707 mg/L no fundo. Os valores foram mais altos na coleta de fundo, em função do processo de nitrificação, onde toda a amônia formada a partir da decomposição de matéria orgânica (amonificação) é oxidada a nitrato. Este fato é o principal responsável pelo aumento da concentração de nitrato no hipolímnio. A nitrificação é um processo predominantemente aeróbico e, como tal, ocorre somente nas regiões onde existe oxigênio disponível, geralmente na coluna d'água e na superfície do sedimento (ESTEVES, 1998). Barbosa (1981) citado por ESTEVES (1998) menciona que em lagos tropicais a concentração e a distribuição de nitrato parecem estar diretamente relacionadas com o grau de oxigenação da coluna d'água.

É importante destacar que as concentrações obtidas para esta fração oxidada no presente trabalho, foram bastante inferiores àquelas consideradas tóxicas para as

comunidades aquáticas e para o uso humano (concentrações acima de 10mg/L, em lagos). O limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe 2, é de 10 mg/L de nitrato. Os valores de nitrato estiveram por volta de 0,60 mg/L, ou seja, muito abaixo desse limite.

A clorofila a é uma outra variável importante a ser considerada nos ecossistemas aquáticos. Destaca-se como pigmento fotossintetizante, devido a sua importância neste processo, e consiste, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas. Desta forma, permite estimar a biomassa algal, ou seja, indica de forma adequada o nível de crescimento de algas (BRANCO, 1991), sendo o parâmetro mais comumente utilizado nos estudos de eutrofização.

Os resultados obtidos para a clorofila a, demonstraram um padrão temporal, tendo sido as suas maiores concentrações registradas durante a estação chuvosa. Os altos valores de clorofila a devem ter sido reflexo principalmente das maiores concentrações de nutrientes (fósforo total e amônia) que ocorreram neste período, representando, uma maior produtividade fitoplanctônica, embora esta variável não tenha sido medida no presente trabalho. Outros fatores também podem ter influenciado, como as altas precipitações (maior entrada de nutrientes), radiação incidente, turbulência da água, estratificação da coluna d'água, além dos mecanismos operacionais dos reservatórios (vazão e tempo de residência da água). Segundo ESTEVES (1998), em lagos tropicais rasos, ambientes geralmente sujeitos a muita turbulência, torna-se difícil o reconhecimento dos fatores mais importantes na determinação das variações temporais. Moura et al. (1977) citado pelo mesmo autor,

mostraram que no lago Paranoá (represa do Distrito Federal) a radiação e a precipitação têm pouca influência sobre a variação da biomassa. Ao contrário, os nutrientes, especialmente nitrato e fosfato têm importante papel.

As concentrações de clorofila a encontradas no presente estudo, variaram de 0 mg/L (período de estiagem) a 38,491 mg/L (período chuvoso). Os valores foram mais elevados quando comparados àqueles obtidos em estudos anteriores no reservatório de Três Irmãos (RODRIGUES, 2003; MINILLO, 2005). Observou-se que a maioria dos teores de clorofila a encontra-se abaixo do limite da Classe 2 (30 µg/L), conforme Resolução CONAMA 357/2005.

8.2. AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DA ÁGUA DA REGIÃO DE LANÇAMENTO DOS ESGOTOS DA ETE- PEREIRA BARRETO

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. (CETESB, 2004).

O índice utilizado foi o índice clássico introduzido por Carlson e modificado por TOLEDO et al (1983). Este índice utiliza três avaliações de estado trófico em função dos valores obtidos para as variáveis: clorofila a, fósforo total e transparência (disco Secchi).

No presente estudo não foi considerado o cálculo do índice de transparência, pois os valores de transparência podem ser afetados pela elevada turbidez decorrente

de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

Optou-se por utilizar o Índice de Estado Trófico proposto por Toledo et al., em razão da utilização de parâmetros de simples determinação e baixo custo analítico, como clorofila a, e fósforo total, além de sua melhor representação para ambientes aquáticos em regiões tropicais.

Os resultados obtidos no presente trabalho revelaram um baixo grau de trofia nos meses de seca, para a maioria dos pontos de amostragem da área de estudo, com classificação oligotrófica. Durante os meses chuvosos, observou-se “um status” mesotrófico e eutrófico. Deve-se salientar que as variáveis selecionadas neste estudo (fósforo total e clorofila a), quando avaliadas separadamente, não demonstraram diferenças nas classificações obtidas com àquelas do índice de estado trófico médio.

Os valores do índice de estado trófico com base no fósforo total mostraram que esta região de estudo do reservatório de Três Irmãos foi mais impactada, principalmente nos meses de chuva, com “status” ora eutrófico ora mesotrófico, devido às precipitações que aumentaram a entrada desse nutriente no corpo d’água. Pode-se inferir que a área de entorno promove interferências na região em razão das atividades antropogênicas exercidas. Outro fator importante é a sua proximidade com fontes pontuais de poluição (ETE de Pereira Barreto).

Porém, constatou-se uma melhoria na qualidade trófica da água no período de inverno comparado ao de verão, com predomínio de condições oligotróficas.

Quanto aos valores nulos determinados para o IET do fósforo, estes foram decorrentes dos teores obtidos para esse indicador que se encontravam abaixo do

limite de detecção do método analítico utilizado. É importante frisar que este elemento estava presente nessas amostras, no entanto, em baixas concentrações.

Os valores encontrados para o índice de estado trófico, baseado na concentração de clorofila a, foram maiores no período de verão. Os pontos amostrados enquadraram-se entre mesotróficos e eutróficos, o que pode estar relacionado ao maior aporte de nutrientes (fósforo total e amônia) nessa época e, conseqüentemente ao aumento da produtividade fitoplanctônica. TUNDISI et al. (1988) ao aplicar o Índice de Carlson (1977) para a clorofila a, descreveram todos os reservatórios do rio Tietê como eutróficos. Já no inverno, observou-se uma melhoria na qualidade trófica da água no que se refere à clorofila a, permitindo classificar a região de estudo como oligotrófica.

Estudos anteriores realizados por RODRIGUES (2003), LUZIA (2004) e MINILLO (2005) no reservatório de Três Irmãos constataram uma alternância do estado trófico desse ambiente entre mesotrófico e oligotrófico, sendo oligotrófico o mais comum.

8.3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO EFLUENTE FINAL DA ETE-PEREIRA BARRETO.

Uma estação de tratamento de efluentes tem por objetivo reduzir a carga de contaminante ou poluente dos esgotos, a um nível compatível com o corpo receptor, ou seja, de modo que o efluente final tratado possa ser absorvido, sem provocar a degradação do meio e riscos à saúde do homem.

A temperatura é um parâmetro muito utilizado na caracterização de águas residuárias brutas. Por um lado, o seu aumento favorece a degradação da matéria orgânica e o aumento das reações metabólicas. Por outro lado, diminui a solubilidade dos gases dissolvidos na água, em particular do oxigênio, com conseqüências negativas sobre os sistemas aeróbios (lagoa aeróbia e corpo receptor).

A temperatura das amostras de efluente na saída do sistema oscilou entre 19,0 e 32,5 °C. Na Resolução 357 do CONAMA, é imposto como padrão de emissão de efluentes, a temperatura máxima de 40° C, lançados tanto na rede pública coletora de esgotos como diretamente nas águas naturais. Os valores registrados encontram-se de acordo com a Resolução CONAMA.

O oxigênio dissolvido é utilizado no controle operacional de estações de tratamento de águas residuárias e na caracterização de corpos d'água.

Os teores de oxigênio dissolvido obtidos na saída do sistema oscilaram de 3,0 a 10,6 mg/L. A maioria das concentrações está acima do determinado pela Resolução CONAMA 357/2005 (teor mínimo de 5 mg/L O₂), exceto para a coleta de inverno que apresentou uma concentração de 3,0 mg/L. Segundo VON SPERLING (2005) a concentração de OD de efluentes de lagoas facultativas pode variar ao longo do dia, sendo mais elevada durante as horas de insolação.

É importante salientar que as altas concentrações de OD registradas na porção final do tratamento, no próprio ponto da mistura e no percurso estudado indicam uma boa qualidade da água do corpo receptor para esta característica analisada.

O pH é uma variável importante utilizada no controle da operação de estações de tratamento de esgotos (digestão anaeróbia) e na caracterização de corpos d'água. Constitui-se também em padrão de emissão de esgotos, tanto pela legislação federal quanto pela estadual. Na legislação do estado de São Paulo, estabelece-se faixa de pH entre 5 e 9 para o lançamento direto nos corpos receptores (artigo 18 do decreto 8468), mesmos limites impostos pela Resolução 357 do CONAMA. O pH na saída da lagoa facultativa esteve entre 5,0 e 9,0, exatamente o que preconiza a legislação, e que também favorece o bom funcionamento do sistema.

A condutividade de uma solução é a capacidade desta em conduzir corrente elétrica, e é função da concentração de íons presentes, ou seja, quanto maior a concentração de íons, maior é a condutividade elétrica (ESTEVES 1998). Quanto a esse parâmetro, o CONAMA não estabelece índices máximos, porém realizou-se a análise por tratar-se de águas residuárias domésticas. Os valores obtidos são muito elevados e preocupantes variando de 791,0 a 1023,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Embora não seja muito freqüente o emprego da turbidez na caracterização de esgotos, estes podem provocar elevações na turbidez das águas, reduzindo a penetração da luz, e conseqüentemente prejudicar a fotossíntese. Os valores encontrados variaram de 16,4 a 41,0 UNT na saída do tratamento. Esses resultados apresentam-se bem inferiores ao limite de **100 UNT** da Classe 2, conforme o CONAMA. Incluindo o corpo receptor.

Considerando que o efluente final deste sistema de tratamento é lançado em um corpo de água Classe 2 (reservatório de Três Irmãos- antigo córrego Pederneiras), segundo resolução CONAMA 357/05, as concentrações de fósforo total estiveram acima do limite estabelecido. Os altos teores observados no efluente final, nas seis coletas, é condição preocupante visto que este elemento resulta num grande impacto no corpo receptor (eutrofização). Deve-se ressaltar que as concentrações registradas estiveram acima do valor permitido não só na saída do sistema como também no reservatório de Três Irmãos, onde se observou um aumento da biomassa algal neste corpo d'água, principalmente no período chuvoso.

O nitrogênio amoniacal que representa a fração reduzida do nitrogênio é também um elemento indispensável ao crescimento de seres vivos que o utilizam, especialmente as algas (eutrofização). O CONAMA pela resolução 357/2005, estabeleceu 20 mg/L de amônia para águas de Classe 2. Segundo PIVELI e KATO (2005), atender a esse padrão de emissão pode ser difícil para sistemas de tratamento por lagoas de estabilização fotossintéticas ou por processo anaeróbio. Os resultados demonstram uma concentração acima do valor permitido, principalmente na estação fria. As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal no inverno podem estar relacionadas com a menor atividade das algas na lagoa de estabilização facultativa, e conseqüentemente, menores assimilação de nutrientes.

O nitrogênio na forma de nitrato quando descarregado nas águas naturais em grandes quantidades, pode provocar o enriquecimento do meio tornando-o mais fértil e assim, possibilitar o crescimento das algas, o que é chamado de eutrofização.

O limite máximo de *nitrato* permitido pela resolução 357/2005 do CONAMA para águas da Classe 2, é de 10 mg/L. Para esse critério, os valores registrados estão bem abaixo do limite máximo estabelecido. ROSSIN et al. (1989) ao estudar a aplicação de nitrato de amônio para controle de odor na rede coletora de Santos e São Vicente, determinaram também no efluente final, antes da dispersão no oceano, teores de nitrato bem inferiores ao preconizado pela legislação (0,20 a 0,68 mgNO₃⁻ - N/L). Os mesmos autores enfatizam que o nitrato de amônio é quase totalmente consumido nos esgotos e, as concentrações dos residuais de nitrato, mesmo antes da dispersão final, são insignificantes.

Os resultados de nitrato obtidos, neste estudo, também estão em concordância com o valor reportado por NAVAL e SANTOS (2000), que encontraram 0,17 mg/L N-NO₃⁻, durante estudos realizados no sistema de lagoas de estabilização da cidade de Palmas (TO). Já, FALCO (2005), em um estudo realizado na ETE do município de Novo Horizonte (SP), registrou concentrações superiores de nitrato no efluente, de 2,0 a 4,3 mg/L N-NO₃⁻, quando comparadas às encontradas no presente trabalho. É importante ressaltar que as estações de tratamento das cidades de Palmas e Novo Horizonte são sistemas onde não é lançado nitrato de amônio na rede coletora. Isto demonstra que as lagoas de estabilização da ETE-Pereira Barreto estão removendo com uma certa eficiência o nitrato adicionado para a redução de odor.

Entretanto, alguns pesquisadores ainda questionam a aplicação de compostos nitrogenados em esgotos domésticos, mencionando a necessidade premente de sua remoção posterior (BELLI FILHO et al., 2005).

O efluente de lagoas de estabilização se caracteriza por uma elevada concentração de algas. Numa lagoa de estabilização facultativa ou lagoa de oxidação, a concentração de algas é mais elevada do que a de bactérias, onde desempenham um papel importante na oxidação aeróbia da matéria orgânica e redução fotossintética da lagoa (JORDÃO e PESSOA, 1995).

Os teores de clorofila *a* na saída do tratamento oscilaram entre 47,045 a 505,192 µg/L. Altos valores de clorofila *a* foram observados no período de verão. Nesta estação, os altos teores de nutrientes registrados e a disponibilidade de radiação solar, favoreceram amplamente o aumento da biomassa fitoplanctônica. Entretanto, a maior concentração de clorofila *a* foi registrada no mês de inverno, quando também foi registrada a maior concentração de amônia nos esgotos. Os valores mais baixos de clorofila *a* foram os dos meses de Abr. e Jun./2005 (período de estiagem). Nestes meses foram também determinados os menores valores de fósforo total.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle da eficiência das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos (embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda “potencial” pode ser medida à entrada e à saída de qualquer tipo de tratamento) (PIVELI e KATO, 2005). A DBO retrata de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d’água, sendo, portanto, uma indicação do potencial do consumo do oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005). Este consumo, por outro lado, não é praticado diretamente

pelo composto orgânico, mas sim ele é resultado da atividade respiratória de microrganismos que se alimentam da matéria orgânica. A oxidação completa da matéria orgânica demora de 21 a 28 dias para esgotos domésticos. Assim, padronizou-se o teste da DBO em 5 dias, à temperatura de 20 °C (DBO padrão).

No mês de Abril foi encontrado o maior valor de DBO no efluente. No período de seca, ocorre à redução do volume de esgoto, pois não tem contribuição de águas pluviais, ocasionando maior consumo de matéria orgânica e DBO mais concentrada, já que sua unidade é obtida em mg/L. De maneira contrária, o menor índice de DBO ocorreu no mês de Dezembro (verão) quando há precipitação pluviométrica, aumentando a vazão, ocasionando diluição do material orgânico e conseqüentemente redução da DBO.

Na legislação do Estado de São Paulo, o decreto Estadual nº 8.468, a DBO₅ é padrão de emissão de esgotos diretamente nos corpos d'água, sendo exigidos uma DBO₅ máxima de 60 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento na remoção de DBO₅ igual a 80 %. A ETE de Pereira Barreto não apresentou índice satisfatório para essa característica na maior parte das coletas realizadas. Os valores encontrados foram muito superiores ao limite de 60 mg/L estipulado pela legislação estadual.

9. CONCLUSÕES

Os resultados das campanhas realizadas, analisadas em conjunto, permitem concluir que:

- A técnica de aplicação de nitrato de amônio, para controlar os odores em rede coletoras de esgotos sanitários, sob o ponto de vista ambiental, não apresentou potencial para acarretar impacto negativo no corpo receptor (reservatório de Três Irmãos).
- Essa região do reservatório de Três Irmãos é um ambiente bem oxigenado, inclusive nas camadas mais profundas, com baixos teores de turbidez, e pH levemente alcalino, entretanto, com alta condutividade elétrica, e elevadas concentrações de nutrientes (fósforo total e amônia), principalmente no período de verão. Este fato é devido à influência principalmente do esgoto doméstico que é lançado nesta área.
- As concentrações de nitrato encontradas nas amostras de água foram muito reduzidas, estão bem abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.
- Os valores de clorofila *a* encontrados nas amostras de água foram significativamente mais altos na época de chuvas. Estes altos valores devem ter sido reflexo principalmente das maiores concentrações de nutrientes

encontradas no efluente final neste período. A maioria dos valores obtidos para esse parâmetro, situou-se abaixo do limite fixado para a Classe 2 (30 µg/L), conforme o CONAMA 357/05.

- Em geral, as concentrações de fósforo total detectadas na água estiveram acima do limite estabelecido para a classe 2 (0,030 mg/L). Isto foi devido ao aporte de nutriente (fósforo) advindo principalmente do efluente da ETE-Pereira Barreto.
- A análise do Índice do Estado Trófico indicou características de sistema mesotrófico e eutrófico no período de verão, e de oligotrófico no período de inverno.
- De acordo com o CONAMA 357/05, o efluente final da ETE de Pereira Barreto esteve fora dos limites especificados para o fósforo total durante todo o período de estudo. Portanto, a ETE produziu um esgoto efluente do tratamento potencialmente eutrofizante no que se refere à concentração deste nutriente, durante o período de amostragem. Esta condição sugere a necessidade de um pós-tratamento desse efluente final para a remoção de fósforo total no tratamento de esgotos.
- A DBO, também apresentou valores acima do estipulado pela legislação estadual vigente (Decreto Estadual nº 8.468). Tal fato, sugere a construção de

mais uma lagoa facultativa em série na ETE- Pereira Barreto, fazendo com que aumente a eficiência de redução da DBO neste sistema de tratamento.

- As concentrações de nitrato obtidas no efluente final situaram-se bastante abaixo do limite da Classe 2 (10 mg/L), conforme Resolução CONAMA 357/05. Assim sendo, a ETE de Pereira Barreto não produziu um efluente final potencialmente eutrofizante no que se refere ao teor de nitrato, durante o período de estudo. Entretanto, com referência ao nitrogênio amoniacal, o efluente final está em desacordo com o CONAMA, principalmente no período de inverno, o que sugere a necessidade de um pós-tratamento desse efluente para a remoção de nitrogênio amoniacal no tratamento de esgotos.
- As concentrações de clorofila a no esgoto efluente foram elevadas no período estudado. Com base nos resultados obtidos, percebe-se que o efluente final da ETE contribuiu para uma elevação de clorofila a no corpo hídrico receptor onde é lançado.
- A análise de componentes principais (ACP) preliminar determinou 2 grupos de variáveis limnológicas mais importantes na distribuição dos dados obtidos na ETE de Pereira Barreto e no reservatório de Três Irmãos. O primeiro grupo composto pela condutividade, turbidez, fósforo total, amônia e clorofila a, e o segundo, pela temperatura. A ACP aplicada para todos os locais de amostragem revelou haver diferença entre os pontos amostrados no reservatório e na estação de tratamento. Isto pode significar que no

reservatório os processos resultantes da interação entre os fatores físico-químicos e biológicos são menos intensos e têm uma influência menor que na ETE.

- A ACP aplicada ao reservatório mostrou haver apenas padrão sazonal para as variáveis limnológicas, segundo os fatores 1 (clorofila a e nitrato) e 2 (temperatura e oxigênio dissolvido). Não ocorreu padrão espacial para as características analisadas, segundo as componentes principais obtidas.
- A análise de agrupamento do tipo cluster confirmou o padrão sazonal obtido na ACP para as variáveis analisadas.
- O teste de Wilcoxon para dados pareados permitiu concluir que:
 - As concentrações de oxigênio dissolvido e nutrientes (fósforo total e nitrato) obtidas no ponto de lançamento são diferentes entre as profundidades de coleta.
 - A jusante do lançamento houve uma considerável capacidade de diluição dos despejos domésticos pelo corpo receptor.
 - Os resultados obtidos para os parâmetros temperatura, condutividade, pH, OD e nitrato não apresentaram diferenças significativas entre o ponto de montante com os de jusante.

- A análise multivariada usando a ACP e o agrupamento hierárquico mostrou-se mais informativa do que a análise univariada usando o Teste de Wilcoxon.
- Em relação à hipótese formulada, pode-se concluir que não se evidencia uma associação entre a aplicação de nitrato de amônio no sistema de coleta e de tratamento de esgotos domésticos do município de Pereira Barreto e a concentração de nitrogênio-nitrato no corpo receptor.

10. REFERÊNCIAS

Albuquerque Filho JL, Silva ALB, Borin Júnior T, Corrêa WAG. Alterações do nível freático induzidas pelo enchimento do reservatório de Três Irmãos, em Pereira Barreto, SP. In: Anais do 5. Simpósio de Geologia do Sudeste; 1997; São Paulo, BR. São Paulo: IPT; 1997. v. 1, n. 1, p. 190-192.

Amaral e Silva CC do. Poluição das águas e eutrofização [tese de doutorado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 1972.

APHA- Standard methods for the examination of water and wastewater. 19. ed. Washington (DC): American Public Health Association; 1995.

Azevedo ADP, Elias VF, Moraes IPS, Pelicer AI, Silva NL. Redução do odor através da aplicação de nitrato de amônio. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 1993; Natal, Br. São Paulo: SABESP; 1993. p. 693-704.

Azevedo ADP, Simões JC, Ferreira R, Lameu D, Elías WF. Reducción de gas sulfuro (H_2S) en redes colectoras. Ing Sanit Ambient. 1999; 46: 73-75.

Belli Filho P, Costa RHR da, Gonçalves RF, Coraucci Filho B, Melo Lisboa H de. Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários [capítulo de livro na internet]. PROSAB. [acesso em 4 de out 2005]. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-8.pdf>

Braga B, Hespanol I, Conejo JGL, Barros MTL, Veras Jr MS, Porto MFA et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall; 2002.

Branco SM, Coimbra RM, Cleary RW, Eiger S, Luca SJ de, Porto RL et al. Hidrologia Ambiental. São Paulo: Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos; 1991.

Branco SM. Biologia do tratamento de esgotos. Rev DAE. 1964; 25 (55): 99-115.

Branco SM. Controle preventivo e corretivo de algas em águas de abastecimento. Rev DAE. 1962; 45: 61-75.

Branco SM. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB; 1986.

Campbell ER. Rising nitrate levels may be lurking. Water Technol. 2000; 26 (6): 61-62.

CESP- Companhia Energética de São Paulo. São Paulo: Usina Hidrelétrica Três

Irmãos [página na internet]. [acesso em 20 mar 2005]. Disponível em:

http://www.cesp.com.br/institucional/usi_tres.asp

CESP- Companhia Energética de São Paulo. UHE Três Irmãos: estudos de impacto ambiental (EIA). São Paulo; 1990 a. p. 49-55, p. 143-145.

CESP- Companhia Energética de São Paulo. UHE Três Irmãos: relatório de impacto ambiental (RIMA). São Paulo; 1990 b. p. 8-9, p. 33-35.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo; 1988.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo [relatório na internet]. São Paulo; 2003 [acesso em 24 abr 2006]. Disponível em:
http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/relatorios/rios/rel_aguas_int_2003/relatorio_anual_aguas_int_2003.zip

CETESB- Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo [relatório na internet]. São Paulo; 2004 [acesso em 24 abr 2006]. Disponível em:
http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/relatorios/rios/rel_aguas_int_2004/real_aguas_int_2004.zip

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de Junho de 1986. Dispõe sobre a classificação de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional [resolução na internet]. [acesso em 29 ago 2005]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências [resolução na internet]. [acesso em 29 ago 2005]. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

Esteves FA. Fundamentos de limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência; 1998.

Falco PB de. Estrutura microbiana (algas e bactérias) em um sistema de lagoas de estabilização em duas escalas temporais: nictemeral e sazonal [tese de doutorado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2005. [acesso em 31jul 2006]. Disponível em: <http://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-20042006-081717>

Fonseca PW, Junior IV, Jordão EP, Roldão JSF, Azevedo JPS de. A influência do comportamento hidrodinâmico no desempenho de uma lagoa de estabilização facultativa. In: Anais do 23. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental [evento na internet]; 2005; Campo Grande, Br. Rio de Janeiro: ABES; 2005 [acesso em 15 jan 2007]. Disponível em:

<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Patricia%20Final%20II-071.pdf>

Fracácio R. Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com *Danio rerio* (cypriniformes, cyprinidae) e análises limnológicas para a avaliação ambiental dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) [dissertação de mestrado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2001.

Fuziy A. Estudo das alterações sagitais, verticais e transversais decorrentes da distalização dos molares superiores com o aparelho pendulum [tese de doutorado na internet]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru da USP; 2001 [acesso em 25 jan 2007]. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/25/25134/tde-21122004-155559/>

Jordão EP, Pessoa CA. Tratamento de esgotos domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES; 1995.

Leite MA. Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento no reservatório de Salto Grande, Americana- SP [tese de doutorado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Paulo da USP; 2002 [acesso em 12 mar 2005]. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-14032003-144635/>

Luzia AP. Limnologia e grau de trofia dos reservatórios em cascata do rio Tietê (Médio e Baixo Tietê, São Paulo) [dissertação de mestrado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2004.

Margalef R. Limnologia. Barcelona: Omega; 1986.

Matsumura-Tundisi T et al. Limnological studies at 23 reservoirs in southern part of Brazil. Verh. Int. Ver. Limnol. 1981; 21:1040-1047.

Minillo A. Análise da distribuição, densidade e toxicidade de florações de cianobactérias e suas toxinas nos reservatórios do Médio e Baixo rio Tietê (SP) e relação com as características limnológicas do sistema [tese de doutorado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Paulo da USP; 2005 [acesso em 3 fev 2005]. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04102005-093424/restrito/AlessandroMinillo.pdf>

Moretto EM. Diversidade zooplânctônica e variáveis limnológicas das regiões limnética e litorânea de cinco lagoas do Vale do rio Doce- MG, e suas relações com o entorno [dissertação de mestrado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2001. [acesso em 27 jan 2006]. Disponível em: <http://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-23082003-194221/>

Naval LP, Santos LMP dos. Avaliação de um sistema de lagoas de estabilização para tratamento de águas residuárias domésticas na região Norte. In: Anais do 27. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental [evento na internet]; 2000; Porto Alegre, Br. Rio de Janeiro: ABES; 2000 [acesso em 31 ago 2005]. Disponível em: http://www.ciplima.org.pe/sanitaria/xxvii_con/tema01/poster/i-020.pdf.

- Neto JMM, Moita GC. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Quím. Nova [periódico na internet]. 1998 jul/ago [acesso em 20 maio 2006]; 21(4): [8 screens]. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0100-40421998000400016&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt
- Packham RF. Public health and regulatory aspects of inorganic nitrogen compounds in drinking water. Water Supply. 1992; 10 (3): 1-6.
- Payne AI. The ecology of tropical lakes and rivers. New York: John Wiley; 1986.
- Piveli RP, Kato MT. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES; 2005.
- Rodrigues MHS. Limnologia, análise da comunidade de macroinvertebrados bentônicos e bioensaios de toxicidade para avaliação ambiental dos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê (SP) [tese de doutorado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2003.
- Rodríguez MP. Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas [tese de doutorado]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP; 2001. [acesso em 31 ago 2005]. Disponível em:
<http://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-16072005-165122/>

Rossin AC, Santos CL, Siqueira JEC, Mancuso PCS. Aplicação de nitrato de amônio pra controle de odor na rede de esgotos de Santos e São Vicente. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária; 1989; Belém, BR. São Paulo: SABESP; 1989. p. 455-468.

Ryding SO, Rast W. The control of eutrophication of lakes and reservoirs. Paris: UNESCO; Carnforth, Lancs, U.K.; Park Ridge, N.J., U.S.A: Parthenon Pub. Group; 1989.

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Aplicação de nitrato de amônio para controle de odor na rede de esgotos de Santos e São Vicente: relatório técnico. São Paulo; 1987.

São Paulo (Estado). Decreto Estadual nº 8468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do meio Ambiente. Art.18: Estabelece padrões de emissão de efluentes em corpos d'água [decreto na internet]. [acesso em 29 ago 2005]. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/76_8468.zip

Shreve RN, Brink Jr JA. Indústrias de processos químicos. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara; 1997.

Takeuti MRS. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização com chicanas [dissertação de mestrado na internet]. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP; 2003 [acesso em 15 jan 2007]. Disponível em:

http://www..dec.feis.unesp.br/pos/teses/2003/takeuti_2003.pdf

Toledo AP, Talarico M, Chinez SJ. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Anais do 12. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 1983; Camburiú, BR. Rio de Janeiro: ABES; 1983. p. 1-34.

Triola MF. Introdução à estatística. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2005.

Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Henry R, Rocha O, Hino K. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do estado de São Paulo: eutrofização e manejo. In: Tundisi JG, editor. Limnologia e manejo de represas. São Paulo: EESC-USP/CRHEA/ACIESP; 1988. p. 165-204. [Série Monografias em Limnologia, v. 1, t. 1/2].

U. S. EPA- United State Environmental Protection Agency. EPA issues alert on ammonium nitrate [artigo na internet]. [acesso em 11 ago 2003]. Disponível em: <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/b1ab9f485b098972852562e7004dc686/261c9b282491f254...>

Ultrafértil S.A. Ficha técnica do produto. São Paulo; 2001.

Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

Wetzel RG. Limnologia. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian; 1993.

Xavier MB. Contribuição ao estudo da variação sazonal do fitoplâncton na represa Billings- São Paulo [dissertação de mestrado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 1979.

ANEXOS

Tabela 17- Valores críticos de T para o Teste dos Postos com Sinais de Wilcoxon.

n	α			
	0,005 (uma cauda) 0,01 (duas caudas)	0,01 (uma cauda) 0,02 (duas caudas)	0,025 (uma cauda) 0,05 (duas caudas)	0,05 (uma cauda) 0,10 (duas caudas)
5	*	*	*	1
6	*	*	1	2
7	*	0	2	4
8	0	2	4	6
9	2	3	6	8
10	3	5	8	11
11	5	7	11	14
12	7	10	14	17
13	10	13	17	21
14	13	16	21	26
15	16	20	25	30
16	19	24	30	36
17	23	28	35	41
18	28	33	40	47
19	32	38	46	54
20	37	43	52	60
21	43	49	59	68
22	49	56	66	75
23	55	62	73	83
24	61	69	81	92
25	68	77	90	101
26	76	85	98	110
27	84	93	107	120
28	92	102	117	130
29	100	111	127	141
30	109	120	137	152

Fonte: TRIOLA, 2005.

Notas:

1. * indica que não é possível obter um valor na região crítica.
2. Rejeite a hipótese nula se a estatística de teste T for menor ou igual ao valor crítico da tabela. Deixe de rejeitar a hipótese nula se a estatística de teste T for maior que o valor crítico da tabela.

Tabela 18- Valores de temperatura (°C) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		28,0	30,5	27,0	25,0	21,0	5,0	21,0	30,5	26,30	27,0	3,56	0,14
BM		27,0	29,9	28,8	25,1	20,0	5,0	20,0	29,9	26,16	27,0	3,90	0,15
BF		27,0	28,2	28,1	24,8	20,0	5,0	20,0	28,2	25,62	27,0	3,43	0,13
1S	25,7	27,0	30,0	29,0	24,9	20,0	6,0	20,0	30,0	26,10	26,4	3,56	0,14
1M	26,4	27,0	29,1	29,0	25,0	19,0	6,0	19,0	29,1	25,92	26,7	3,73	0,14
1F	25,7	27,0	29,0	29,0	24,9	20,0	6,0	20,0	29,0	25,93	26,4	3,35	0,13
2S	25,2	27,8	30,0	29,9	25,0	21,0	6,0	21,0	30,0	26,48	26,5	3,46	0,13
2M	26,3	27,2	30,0	30,1	25,0	21,0	6,0	21,0	30,1	26,60	26,8	3,41	0,13
2F	25,2	27,2	29,0	30,0	25,0	19,0	6,0	19,0	30,0	25,90	26,2	3,92	0,15
3S	25,3	28,0	30,0	30,0	24,8	21,0	6,0	21,0	30,0	26,52	26,7	3,50	0,13
3M	25,9	27,9	30,2	30,1	25,0	20,0	6,0	20,0	30,2	26,52	26,9	3,83	0,14
3F	25,1	27,9	30,0	30,0	25,0	20,0	6,0	20,0	30,0	26,33	26,5	3,81	0,14
4S	25,3	28,9	30,2	30,5	25,0	21,0	6,0	21,0	30,5	26,82	27,1	3,71	0,14
4M	25,8	28,0	29,9	31,0	25,0	18,0	6,0	18,0	31,0	26,28	26,9	4,66	0,18
4F	25,4	28,0	29,0	30,5	25,0	18,0	6,0	18,0	30,5	25,98	26,7	4,44	0,17

Tabela 19- Valores de condutividade elétrica (µS/cm) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		155,5	163,7	161,6	139,8	173,4	5,0	139,8	173,4	158,80	161,6	12,42	0,08
BM		165,3	165,5	159,8	143,0	174,2	5,0	143,0	174,2	161,56	165,3	11,59	0,07
BF		155,2	166,3	155,3	144,0	169,4	5,0	144,0	169,4	158,04	155,3	10,12	0,06
1S	157,6	162,9	168,4	158,4	147,5	173,8	6,0	147,5	173,8	161,43	160,7	9,18	0,06
1M	174,0	174,1	161,8	157,1	135,5	178,0	6,0	135,5	178,0	163,42	167,9	15,88	0,10
1F	136,5	178,7	160,5	141,2	140,5	178,5	6,0	136,5	178,7	155,98	150,9	19,40	0,12
2S	150,5	165,5	160,1	151,2	141,0	175,5	6,0	141,0	175,5	157,30	155,7	12,29	0,08
2M	130,8	154,5	165,2	153,3	146,0	175,6	6,0	130,8	175,6	154,23	153,9	15,46	0,10
2F	179,8	148,9	153,2	142,5	149,0	175,4	6,0	142,5	179,8	158,13	151,1	15,52	0,10
3S	149,5	160,0	155,8	128,0	146,0	181,0	6,0	128,0	181,0	153,38	152,7	17,47	0,11
3M	152,4	156,7	152,5	126,3	145,5	181,4	6,0	126,3	181,4	152,47	152,5	17,82	0,12
3F	140,0	159,3	156,7	142,6	148,9	178,2	6,0	140,0	178,2	154,28	152,8	13,95	0,09
4S	135,4	157,1	165,3	158,5	147,0	181,0	6,0	135,4	181,0	157,38	157,8	15,57	0,10
4M	136,0	149,6	162,3	158,3	148,7	170,8	6,0	136,0	170,8	154,28	154,0	12,17	0,08
4F	145,3	156,2	159,2	152,1	146,5	172,0	6,0	145,3	172,0	155,22	154,2	9,82	0,06

Tabela 20- Valores de turbidez (UNT) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		3,40	4,50	1,00	1,40	2,00	5,0	1,00	4,50	2,46	2,00	1,46	0,59
BM		1,50	5,50	1,40	1,50	2,80	5,0	1,40	5,50	2,54	1,50	1,75	0,69
BF		2,10	5,80	1,50	1,40	2,40	5,0	1,40	5,80	2,64	2,10	1,81	0,69
1S	2,12	1,80	5,50	1,20	1,40	1,50	6,0	1,20	5,50	2,25	1,65	1,62	0,72
1M	1,05	2,10	4,50	1,30	1,60	1,40	6,0	1,05	4,50	1,99	1,50	1,28	0,64
1F	1,70	2,00	5,60	1,10	1,50	1,70	6,0	1,10	5,60	2,27	1,70	1,66	0,73
2S	2,10	1,70	4,00	1,00	1,40	1,40	6,0	1,00	4,00	1,93	1,55	1,08	0,56
2M	1,30	1,50	3,80	1,10	1,30	1,40	6,0	1,10	3,80	1,73	1,35	1,02	0,59
2F	1,70	1,70	5,00	0,90	1,40	1,30	6,0	0,90	5,00	2,00	1,55	1,50	0,75
3S	1,50	1,50	5,00	1,30	1,30	1,40	6,0	1,30	5,00	2,00	1,45	1,47	0,74
3M	1,00	1,30	5,40	1,20	1,50	1,20	6,0	1,00	5,40	1,93	1,25	1,71	0,88
3F	1,65	1,90	3,00	2,00	1,50	1,60	6,0	1,50	3,00	1,94	1,78	0,55	0,28
4S	1,11	1,60	4,80	1,10	1,20	1,50	6,0	1,10	4,80	1,89	1,35	1,44	0,77
4M	1,35	1,50	3,30	1,00	1,10	1,70	6,0	1,00	3,30	1,66	1,43	0,84	0,51
4F	1,50	1,90	22,00	2,20	1,50	1,80	6,0	1,50	22,00	5,15	1,85	8,26	1,60

Tabela 21- Valores de pH das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		7,79	7,93	7,16	7,64	7,52	5,0	7,16	7,93	7,61	7,64	0,29	0,04
BM		7,86	7,93	7,26	7,71	7,45	5,0	7,26	7,93	7,64	7,71	0,28	0,04
BF		7,86	7,84	7,36	7,66	7,46	5,0	7,36	7,86	7,64	7,66	0,22	0,03
1S	7,61	7,60	7,30	7,53	6,60	6,83	6,0	6,60	7,61	7,25	7,42	0,43	0,06
1M	8,35	7,12	7,23	7,65	6,75	7,23	6,0	6,75	8,35	7,39	7,23	0,55	0,07
1F	8,22	7,08	7,53	7,63	6,91	7,35	6,0	6,91	8,22	7,45	7,44	0,46	0,06
2S	8,41	7,42	7,82	7,69	7,13	7,47	6,0	7,13	8,41	7,66	7,58	0,44	0,06
2M	8,31	7,61	7,90	7,68	7,16	7,48	6,0	7,16	8,31	7,69	7,65	0,39	0,05
2F	8,33	7,53	7,80	7,67	7,24	7,53	6,0	7,24	8,33	7,68	7,60	0,37	0,05
3S	8,35	7,33	7,96	7,74	7,62	7,52	6,0	7,33	8,35	7,75	7,68	0,36	0,05
3M	8,54	7,39	7,91	7,79	7,69	7,47	6,0	7,39	8,54	7,80	7,74	0,41	0,05
3F	8,24	7,39	7,76	7,81	7,72	7,52	6,0	7,39	8,24	7,74	7,74	0,29	0,04
4S	8,20	7,38	7,94	7,82	7,67	7,52	6,0	7,38	8,20	7,76	7,75	0,30	0,04
4M	8,42	7,43	7,88	7,86	7,70	7,53	6,0	7,43	8,42	7,80	7,78	0,35	0,04
4F	8,30	7,53	7,77	7,68	7,71	7,56	6,0	7,53	8,30	7,76	7,70	0,28	0,04

Tabela 22- Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		6,94	7,80	7,00	7,20	7,60	5,0	6,94	7,80	7,31	7,20	0,38	0,05
BM		6,94	6,60	6,40	7,20	7,40	5,0	6,40	7,40	6,91	6,94	0,41	0,06
BF		6,94	4,00	5,20	7,20	7,80	5,0	4,00	7,80	6,23	6,94	1,58	0,25
1S		7,32	7,40	6,60	7,20	8,60	5,0	6,60	8,60	7,42	7,32	0,73	0,10
1M		6,75	7,60	6,80	7,40	8,20	5,0	6,75	8,20	7,35	7,40	0,60	0,08
1F		5,78	5,40	6,00	7,40	8,20	5,0	5,40	8,20	6,56	6,00	1,19	0,18
2S		7,13	7,20	6,80	7,40	8,00	5,0	6,80	8,00	7,31	7,20	0,44	0,06
2M		7,13	7,60	6,60	7,20	8,20	5,0	6,60	8,20	7,35	7,20	0,60	0,08
2F		6,55	5,60	6,20	7,20	8,40	5,0	5,60	8,40	6,79	6,55	1,07	0,16
3S		7,32	7,20	7,00	7,60	8,20	5,0	7,00	8,20	7,46	7,32	0,47	0,06
3M		6,94	5,60	7,00	7,60	8,20	5,0	5,60	8,20	7,07	7,00	0,97	0,14
3F		7,32	7,00	6,00	7,20	8,20	5,0	6,00	8,20	7,14	7,20	0,79	0,11
4S		7,32	7,60	7,20	7,60	8,20	5,0	7,20	8,20	7,58	7,60	0,39	0,05
4M		5,70	5,80	7,00	7,60	8,20	5,0	5,70	8,20	6,86	7,00	1,10	0,16
4F		5,97	4,60	6,00	7,60	8,00	5,0	4,60	8,00	6,43	6,00	1,38	0,21

Tabela 23- Concentrações de fósforo total (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		0,030	0,073	0,001	0,055	0,050	5,0	0,001	0,073	0,042	0,050	0,027	0,66
BM		0,050	0,052	0,000*	0,050	0,001	5,0	0,000	0,052	0,031	0,050	0,027	0,90
BF		0,100	0,025	0,000*	0,055	0,006	5,0	0,000	0,052	0,037	0,025	0,041	1,11
1S	0,040	0,090	0,030	0,001	0,051	0,036	6,0	0,001	0,090	0,041	0,038	0,029	0,70
1M	0,180	0,160	0,050	0,001	0,235	0,028	6,0	0,001	0,235	0,109	0,105	0,095	0,87
1F	0,090	0,125	0,015	0,001	0,055	0,030	6,0	0,001	0,125	0,053	0,043	0,047	0,90
2S	0,035	0,030	0,090	0,003	0,051	0,023	6,0	0,003	0,090	0,039	0,033	0,030	0,77
2M	0,060	0,100	0,055	0,006	0,050	0,026	6,0	0,006	0,100	0,050	0,053	0,032	0,65
2F	0,785	0,075	0,008	0,006	0,060	0,028	6,0	0,006	0,785	0,160	0,044	0,307	1,92
3S	0,035	0,075	0,030	0,003	0,065	0,020	6,0	0,003	0,075	0,038	0,033	0,027	0,72
3M	0,035	0,210	0,025	0,030	0,085	0,024	6,0	0,024	0,210	0,068	0,033	0,073	1,07
3F	0,085	0,450	0,030	0,001	0,060	0,025	6,0	0,001	0,450	0,109	0,045	0,170	1,56
4S	0,040	0,075	0,030	0,001	0,050	0,020	6,0	0,001	0,075	0,036	0,035	0,025	0,71
4M	1,260	0,060	0,030	0,006	0,070	0,025	6,0	0,006	1,260	0,242	0,045	0,499	2,06
4F	0,145	0,055	0,030	0,001	0,071	0,025	6,0	0,001	0,145	0,055	0,043	0,051	0,93

(*) Valores abaixo do limite de detecção (L D) foram incluídos utilizando “zero”

Tabela 24- Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		0,336	0,560	0,392	0,224	0,504	5,0	0,224	0,560	0,403	0,392	0,134	0,33
BM		0,504	0,784	0,336	0,280	1,064	5,0	0,280	1,064	0,594	0,504	0,328	0,55
BF		0,392	1,008	0,336	0,392	0,952	5,0	0,336	1,008	0,616	0,392	0,334	0,54
1S	0,336	0,280	0,560	0,392	0,336	1,344	6,0	0,280	1,344	0,541	0,364	0,405	0,75
1M	0,840	0,336	1,008	0,280	0,224	0,840	6,0	0,224	1,008	0,588	0,588	0,345	0,59
1F	0,952	0,952	1,680	0,224	0,168	0,952	6,0	0,168	1,680	0,821	0,952	0,561	0,68
2S	0,672	0,224	0,448	0,336	0,112	0,616	6,0	0,112	0,672	0,401	0,392	0,220	0,55
2M	0,616	0,280	1,220	0,448	0,168	0,728	6,0	0,168	1,220	0,577	0,532	0,377	0,65
2F	1,344	0,392	1,176	0,280	0,224	0,952	6,0	0,224	1,344	0,728	0,672	0,489	0,67
3S	0,224	0,392	0,448	0,392	0,168	0,728	6,0	0,168	0,728	0,392	0,392	0,197	0,50
3M	0,224	0,504	0,672	0,280	0,280	0,560	6,0	0,224	0,672	0,420	0,392	0,183	0,44
3F	0,504	0,672	0,820	0,168	0,168	0,448	6,0	0,168	0,820	0,463	0,476	0,263	0,57
4S	0,112	0,336	0,280	0,224	0,168	0,336	6,0	0,112	0,336	0,243	0,252	0,091	0,38
4M	0,280	0,560	0,672	0,224	0,224	0,560	6,0	0,224	0,672	0,420	0,420	0,200	0,48
4F	0,672	0,504	0,840	0,224	0,168	0,336	6,0	0,168	0,840	0,457	0,420	0,264	0,58

Tabela 25- Concentrações de nitrogênio nítrico (mg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		0,215	0,044	1,113	0,897	1,238	5,0	0,044	1,238	0,701	0,897	0,540	0,77
BM		0,057	1,590	0,939	0,940	1,138	5,0	0,057	1,590	0,933	0,940	0,557	0,60
BF		0,060	0,943	0,872	0,934	1,007	5,0	0,060	1,007	0,763	0,934	0,396	0,52
1S	0,277	0,057	0,432	0,901	0,816	1,028	6,0	0,057	1,028	0,585	0,624	0,386	0,66
1M	0,300	0,066	0,515	0,905	0,967	1,047	6,0	0,066	1,047	0,633	0,710	0,401	0,63
1F	0,340	0,119	0,589	0,875	0,779	1,060	6,0	0,119	1,060	0,627	0,684	0,350	0,56
2S	0,244	0,056	0,654	0,950	0,803	1,061	6,0	0,056	1,061	0,628	0,729	0,399	0,64
2M	0,276	0,040	0,740	0,865	0,895	1,040	6,0	0,040	1,040	0,643	0,803	0,394	0,61
2F	0,298	0,050	0,782	0,893	0,867	1,075	6,0	0,050	1,075	0,661	0,825	0,397	0,60
3S	0,262	0,044	0,795	0,870	0,920	1,061	6,0	0,044	1,061	0,659	0,833	0,407	0,62
3M	0,293	0,034	0,822	0,430	0,915	1,058	6,0	0,034	1,058	0,592	0,626	0,400	0,68
3F	0,352	0,090	1,770	1,016	0,906	1,117	6,0	0,090	1,770	0,875	0,961	0,595	0,68
4S	0,255	0,052	0,927	0,010	0,910	1,059	6,0	0,010	1,059	0,536	0,583	0,481	0,90
4M	0,270	0,043	0,941	0,879	0,941	1,099	6,0	0,043	1,099	0,696	0,910	0,430	0,62
4F	0,191	0,105	0,384	0,957	0,936	1,133	6,0	0,105	1,133	0,618	0,660	0,443	0,72

Tabela 26- Concentrações de clorofila *a* (µg/L) das amostras de água nos cinco pontos de coleta no reservatório de Três Irmãos durante o período de estudo.

Pontos de coleta	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desv. Pad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
BS		11,220	8,554	0,535	1,069	1,604	5,0	0,535	11,220	4,596	1,604	4,935	1,07
BM		20,849	2,673	0,000	1,604	2,673	5,0	0,000	20,849	5,560	2,673	8,617	1,55
BF		15,503	1,604	0,000	0,000	2,673	5,0	0,000	15,503	3,956	1,604	6,554	1,66
1S	26,730	23,522	9,088	0,535	0,000	3,742	6,0	0,000	26,730	10,603	6,415	11,749	1,11
1M	38,491	25,661	2,138	1,069	0,535	4,811	6,0	0,535	38,491	12,118	3,475	16,051	1,32
1F	31,541	24,057	4,811	6,415	0,535	4,277	6,0	0,535	31,541	11,939	5,613	12,658	1,06
2S	18,176	25,661	9,088	2,673	0,535	1,069	6,0	0,535	25,661	9,534	5,881	10,341	1,08
2M	19,246	22,988	6,950	0,535	1,069	2,673	6,0	0,535	22,988	8,910	4,812	9,792	1,10
2F	23,522	22,453	2,673	1,604	0,535	3,742	6,0	0,535	23,522	9,088	3,208	10,825	1,19
3S	14,969	26,195	6,415	1,069	0,535	0,000	6,0	0,000	26,195	8,197	3,742	10,485	1,28
3M	11,761	22,988	11,761	0,535	0,000	0,000	6,0	0,000	22,988	7,841	6,148	9,343	1,19
3F	24,057	20,849	2,673	0,535	0,000	0,000	6,0	0,000	24,057	8,019	1,604	11,270	1,41
4S	9,088	20,315	11,761	1,604	0,000	2,138	6,0	0,000	20,315	7,484	5,613	7,806	1,04
4M	24,057	24,057	3,208	0,535	0,535	2,673	6,0	0,535	24,057	9,178	2,941	11,577	1,26
4F	21,384	19,246	3,208	0,535	0,535	2,673	6,0	0,535	21,384	7,930	2,941	9,679	1,22

Tabela 27- Características físico-químicas e biológicas dos esgotos na saída da lagoa facultativa da ETE da cidade de Pereira Barreto durante o período de estudo.

Parâmetros	Meses						n	Mín.	Máx.	Média	Med.	Desvpad.	Coef. Var.
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.							
Temp. (° C)	32,5	30,0	32,0	32,0	26,0	19,0	6,0	19,0	32,5	28,6	31,0	5,3	0,18
Condut. (µS/cm)	955,0	856,0	791,0	882,0	858,0	1023,0	6,0	791,0	1023,0	894,2	870,0	82,3	0,09
Turbidez (UNT)	16,4	28,0	41,0	27,0	37,0	35,0	6,0	16,4	41,0	30,7	31,5	8,8	0,29
pH	8,97	7,88	8,70	8,43	8,41	7,70	6,0	7,70	8,97	8,35	8,42	0,48	0,06
O.D. (mg/L)			5,0	10,6	8,6	3,0	4,0	3,0	10,6	6,8	6,8	3,4	0,50
P total (mg/L)	12,20	8,40	5,50	1,02	4,70	4,75	6,0	1,02	12,20	6,10	5,13	3,81	0,62
NH3 (mg/L)	26,30	12,74	7,50	23,80	27,40	31,00	6,0	7,50	31,00	21,46	25,05	9,23	0,43
N-NO3 (mg/L)	0,865	0,276	0,804	0,014*	0,000*	0,000*	6,0	0,000	0,865	0,327	0,145	0,408	1,25
Clorofila a (µg/L)	242,708	292,426	217,850	47,045	65,756	505,192	6,0	47,045	505,192	228,496	230,279	167,554	0,73
DBO (mg/L)	96,0	46,0	152,0	202,0	149,0	93,0	6,0	46,0	202,0	123,0	122,5	55,3	0,45

(*) Valores estimados- concentrações próximas ao limite de detecção (L D)

(*) Valores abaixo do limite de detecção (L D) foram incluídos utilizando “zero”