

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

PRISCILLA BASILIO CARDOSO BARROS TRINDADE

CLASSIFICAÇÃO DE ESTADO TRÓFICO DE
RESERVATÓRIOS – ESTUDO DE CASO:
RESERVATÓRIO DE RIO BONITO (ES)

VITÓRIA

2011

PRISCILLA BASILIO CARDOSO BARROS TRINDADE

**CLASSIFICAÇÃO DE ESTADO TRÓFICO DE
RESERVATÓRIOS – ESTUDO DE CASO:
RESERVATÓRIO DE RIO BONITO (ES)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça

VITÓRIA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

T833c Trindade, Priscilla Basilio Cardoso Barros, 1986-
Classificação de estado trófico de reservatórios : estudo de caso : reservatório de Rio Bonito (ES) / Priscilla Basilio Cardoso Barros Trindade. – 2011.
153 f. : il.

Orientador: Antônio Sérgio Ferreira Mendonça.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Eutroficação. 2. Modelos matemáticos. 3. Nutrientes.
4. Reservatórios. I. Mendonça, Antônio Sérgio Ferreira.
II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico.
III. Título.

CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Classificação de Estado Trófico de Reservatórios –
Estudo de Caso: Reservatório de Rio Bonito (ES)”.**

PRISCILLA BASILIO CARDOSO BARROS TRINDADE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Orientador – DEA/CT/UFES

Profa. Dra. Edumar Ramos Cabral Coelho
Examinadora Interna – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Eduardo Von Sperling
Examinador Externo – UFMG

Coordenadora do PPGEA: Profa. Dra. Regina de Pinho Keller

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Vitória, ES, 23 de agosto de 2011.

Dedicatória

À minha fonte de amor e força, querida mãe, Aparecida Basilio Cardoso, que me instruiu para um caminho de luz e conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar e proteger desde o início da minha vida.

À minha mãe, Aparecida Basilio e ao Ton Z. Campos, por todo amor, apoio e incentivo na minha longa jornada de estudos intermináveis.

À minha grande família e amigos pelo carinho e torcida pelo meu sucesso e compreensão da minha ausência.

Ao meu namorado, Leandro Gama Moraes, pela compreensão, apoio e amor em todos os momentos.

Ao meu orientador, Antônio Sérgio Ferreira Mendonça, por seu conhecimento, paciência, confiança e apoio. Por ter me ajudado a realizar um sonho: ser Mestre.

Ao Eduardo Von Sperling e Edumar Ramos Cabral Coelho por, gentilmente, terem aceitado ser da Comissão Examinadora.

“Água que nasce na fonte
Serena do mundo
E que abre um
Profundo grotão
Água que faz inocente
Riacho e deságua
Na corrente do ribeirão
Águas escuras dos rios
Que levam
A fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da população
Águas que caem das pedras
No véu das cascatas
Ronco de trovão
E depois dormem tranqüilas
No leito dos lagos
Água dos igarapés
Onde lara, a mãe d'água
É misteriosa canção
Água que o sol evapora
Pro céu vai embora
Virar nuvens de algodão
Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris
Sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas
Na inundação
Águas que movem moinhos
São as mesmas águas
Que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra
Terra! Planeta Água!”

Guilherme Arantes

RESUMO

O reservatório da Pequena Central Hidrelétrica de Rio Bonito, localizada na bacia do rio Santa Maria da Vitória, um dos principais mananciais de abastecimento da Região Metropolitana da Grande Vitória, recebe aporte de nutrientes provenientes de esgotos domésticos, cultivos agrícolas, granjas e pocilgas. No presente estudo procurou-se analisar as condições do corpo de água, quanto a aspectos relacionados com a eutrofização, para o ano hidrológico outubro de 2008 a setembro de 2009, a partir de resultados de monitoramento bimestral de qualidade de água realizado em pontos situados no seu interior, à montante e à jusante. Foi realizada classificação das águas do reservatório, quanto ao estado trófico, de acordo com diferentes modelos matemáticos e Índices de Estado Trófico (IET), incluindo modelos de Salas e Martino (1991) e da OECD, além de IETs de Carlson e de Lamparelli e da Flórida. O Índice Morfoedáfico foi utilizado para estimativa da concentração “natural” de fósforo total no reservatório de Rio Bonito. Concluiu-se que diferentes modelos podem resultar em diferentes classificações de níveis de trofia e que o ponto situado a jusante do reservatório apresentou melhores condições qualitativas do que o situado a montante, considerando diversos parâmetros monitorados, indicando que o reservatório está funcionando como uma lagoa de estabilização de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: eutrofização, modelos matemáticos, nutrientes, reservatório.

ABSTRACT

The small hydroelectric reservoir of Rio Bonito, located in the basin of the Santa Maria da Vitória river, Espírito Santo State, Brazil. This river is one of the main water supply sources for Vitória metropolitan region and receives nutrients from sewage, agricultural crops, farms and piggeries. In this study, conditions of the water body were analyzed, considering results from bimonthly water quality monitoring developed during October 2008 to September 2009 hydrological year. Surveys were carried out at 3 (three) points located inside the reservoir and 2 (two) points located upstream and downstream, respectively. The trophic state was classified by using different mathematical models and trophic state index (TSI), including Salas and Martino (1991) and OECD models, and Carlson, Lamparelli and Florida TSI. Morphoedaphic Index (MEI) was used to estimate the total phosphorus "natural" concentration in the reservoir of Rio Bonito. It was concluded that the application different models can result in different trophic levels classifications. It was also concluded that the downstream point presented better water quality condition than the upstream point, considering several parameters monitored, indicating that the reservoir is working as a waste stabilization pond.

Keywords: eutrophication, mathematical models, nutrients, reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do processo de eutrofização em um lago ou reservatório	23
Figura 2- Etapas representativas do Ciclo do fósforo.....	34
Figura 3 - Distribuição da probabilidade de nível trófico de lagos de clima tropical baseados em fósforo total (SALAS e MARTINO, 1991)	50
Figura 4 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas (coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido)	55
Figura 5 - Mapa com a localização dos pontos de monitoramento limnológico da PCH Rio Bonito	64
Figura 6 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas mensais nos anos de 2008 a 2009	67
Figura 7 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (14/10/2008 a 28/08/2008)	71
Figura 8 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (23/11/2008 a 7/12/2008)	71
Figura 9 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (14/02/2009 a 28/02/2009)	71
Figura 10 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (21/03/2009 a 4/04/2009)	72
Figura 11 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (22/05/2009 a 5/06/2009)	72
Figura 12 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (24/07/2009 a 07/08/2009)	73
Figura 13 - Concentrações de fósforo total nos pontos situados no interior do reservatório	78
Figura 14 - Concentrações de nitrogênio total nos pontos situados no interior do reservatório	79
Figura 15 - Concentrações de clorofila <i>a</i> na superfície da coluna d'água, nos pontos no interior do reservatório de Rio Bonito	81
Figura 16 - Concentrações de oxigênio dissolvido no interior do reservatório de Rio Bonito.....	83
Figura 17 - Valores de transparência nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito	84
Figura 18 - Valores de turbidez nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito.....	85
Figura 19 - Valores de temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito	86
Figura 20 - Concentrações de Coliformes Termotolerantes no interior do reservatório de Rio Bonito.....	88
Figura 21 - Concentrações de fósforo total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	89
Figura 22 - Concentrações de nitrogênio total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	91
Figura 23 - Concentrações de clorofila <i>a</i> na superfície da coluna d'água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	92

Figura 24 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória	94
Figura 25- Valores de transparência nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	95
Figura 26 - Valores de turbidez nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	96
Figura 27- Valores de temperatura da água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória	97
Figura 28 - Valores de Coliformes Termotolerantes no rio Santa Maria da Vitória	98
Figura 29- IQA dentro e a montante do reservatório de Rio Bonito.....	125
Figura 30 - IQA a montante e dentro do reservatório de Rio Bonito e precipitação pluviométrica	125
Figura 31 - Precipitações pluviométricas mensais (1960 – 1965)	139
Figura 32 - Precipitações pluviométricas mensais (1966 – 1970)	139
Figura 33 - Precipitações pluviométricas mensais (1971 – 1975)	139
Figura 34 - Precipitações pluviométricas mensais (1976 – 1980)	140
Figura 35 - Precipitações pluviométricas mensais (1981 – 1985)	140
Figura 36 - Precipitações pluviométricas mensais (1986 – 1990)	140
Figura 37 -Precipitações pluviométricas mensais (1991 – 1995)	140
Figura 38 - Precipitações pluviométricas mensais (1996 – 2000)	141
Figura 39 - Precipitações pluviométricas mensais (2001 – 2005)	141
Figura 40 - Precipitações pluviométricas mensais (2006 – 2009)	141
Figura 41 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de outubro de 2008. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho.....	142
Figura 42 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de dezembro de 2008. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho.....	143
Figura 43 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de fevereiro de 2009. Ponto 2, 5 e 6 – azul	144
Figura 44 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de abril de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho.....	145
Figura 45 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de junho de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho.....	146
Figura 46 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de agosto de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 6 – verde	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuições unitárias de fósforos típicas.....	35
Tabela 2 - Caracterização trófica de lagos e reservatórios	38
Tabela 3 - Classificação do IET de Carlson (1977)	41
Tabela 4 - Categoria de estado trófico, segundo Toledo <i>et. al.</i> (1984).....	44
Tabela 5 - Classificação segundo IET modificado por Lamparelli (2004).....	45
Tabela 6 - IET para Rios	46
Tabela 7 - Classificação de IET total.....	48
Tabela 8 - Categorias tróficas segundo a OECD (1982 apud LAMPARELLI, 2004)	51
Tabela 9 - Classificação do Índice de Qualidade de Água	56
Tabela 10 - Fósforo nos esgotos sanitários	57
Tabela 11 - Eficiência na remoção do fósforo	58
Tabela 12 - Pontos de monitoramento da EDP	63
Tabela 13 - Vazões mensais afluentes ao Reservatório de Rio Bonito e precipitações pluviométricas mensais nos anos de 2008 a 2009.....	66
Tabela 14 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 14/10/2008 a 28/10/2008, dia da primeira coleta de amostras.....	68
Tabela 15 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 23/11/2008 a 07/12/2008, dia da segunda coleta de amostras	68
Tabela 16 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 14/02/2009 a 28/02/2009, dia da terceira coleta de amostras (continua).....	68
Tabela 17 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 21/03/2009 a 04/04/2009, dia da quarta coleta de amostras	69
Tabela 18 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 22/05/2009 a 05/06/2009, dia da quinta coleta de amostras (continua)	69
Tabela 19 - Vazões (m ³ /s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 24/07/2009 a 07/08/2009, dia da sexta coleta de amostras	70
Tabela 20 - Precipitações pluviométricas acumuladas nos dias das campanhas, em três dias, em sete dias e em quinze dias.....	73
Tabela 21 - Vazões médias nos dias das campanhas, em três dias, em sete dias e em quinze dias.....	74
Tabela 22 – Totais mensais e anuais de precipitações pluviométricas na estação pluviométrica da PCH Suíça (continua)	75
Tabela 23- Valores de fósforo total observados nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito.....	77
Tabela 24 - Valores de nitrogênio total nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito	79
Tabela 25 - Valores de clorofila a na superfície da coluna d'água nos pontos no interior do reservatório de Rio Bonito	80
Tabela 26 - Valores de oxigênio dissolvido no interior do reservatório de Rio Bonito (continua)	82
Tabela 27 - Valores de transparência nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito	84
Tabela 28 - Valores de turbidez nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito.....	85

Tabela 29- Valores de temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito.....	86
Tabela 30 - Valores de Coliformes Termotolerantes no interior do reservatório de Rio Bonito.....	87
Tabela 31 - Valores de fósforo total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória.....	89
Tabela 32 - Concentração de nitrogênio total nos pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória.....	91
Tabela 33 - Concentrações de clorofila a na superfície da coluna d'água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória.....	92
Tabela 34 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória.....	93
Tabela 35 - Valores de transparência nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória.....	95
Tabela 36 - Valores de turbidez nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória.....	96
Tabela 37 - Valores de temperatura da água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória.....	97
Tabela 38 - Valores de Coliformes Termotolerantes no rio Santa Maria da Vitória.....	98
Tabela 39 - Nutriente Limitante no reservatório de Rio Bonito.....	100
Tabela 40 - Cargas de fósforo total estimadas a partir do monitoramento no Ponto 1.....	101
Tabela 41 - Tempo de detenção (anos).....	101
Tabela 42 - Classificação de estado trófico de acordo com o modelo de Salas e Martino (1991) para o reservatório de Rio Bonito.....	102
Tabela 43 - Classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com o IET de Carlson (1977) (continua).....	102
Tabela 44 -Classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com o IET de Carlson (1977) considerando a média por campanha.....	103
Tabela 45 – Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para as concentrações de fósforo total e clorofila- a (mg/ m ³), transparência (m)	105
Tabela 46 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o reservatório de Rio Bonito.....	106
Tabela 47 - Classificação do IET modificado por Lamparelli (2004) para os pontos de monitoramento localizados no rio Santa Maria da Vitória.....	108
Tabela 48 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o rio Santa Maria da Vitória (continua).....	108
Tabela 49 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o reservatório de Rio Bonito considerando médias por campanha e média geral	110
Tabela 50 - Classificação do IET Flórida para o reservatório de Rio Bonito (continua).....	110
Tabela 51 - Classificação segundo o IET da Flórida para a média das campanhas e média geral dos três pontos do reservatório de Rio Bonito (continua).....	111
Tabela 52 - Classificação segundo a OECD (1982 apud LAMPARELLI, 2004).....	112
Tabela 53 - Média por campanha e média geral dos três pontos no interior do reservatório de Rio Bonito.....	113

Tabela 54 - Distribuição de probabilidade do estado trófico do reservatório de Rio Bonito (continua).....	114
Tabela 55 - Classificações apresentando maiores percentagens nos Pontos 2, 5 e 6 nas seis campanhas (continua).....	115
Tabela 56 - Comparativo entre a classificação trófica do reservatório de Rio Bonito.....	118
Tabela 57 - Estimativas de percentagens de redução de aporte de fósforo ao reservatório de Rio Bonito.....	122
Tabela 58 - Dados de IQA a montante e dentro do reservatório de Rio Bonito e de pluviometria (continua).....	123
Tabela 59 - Parâmetros a montante do reservatório de Rio Bonito para cálculo do IQA (continua).....	148
Tabela 60 - Parâmetros a montante do reservatório de Rio Bonito para cálculo do IQA (continua).....	149
Tabela 61 - Parâmetros para cálculo do IQA dentro do reservatório (continua).....	151
Tabela 62 - Parâmetros para cálculo do IQA dentro do reservatório (continua).....	152

LISTA DE SIGLAS

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EPA - Environmental Protection Agency - EUA

IET – Índice de Estado Trófico

IQA – índice de Qualidade e Água

MEI – Índice Morfoedáfico

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

SAD - South American Datum

UTM - Universal Transverse Mercator

UO – Ultraoligotrófico

O - Oligotrófico

E – Eutrófico

HE - Hipereutrófico

SE - Supereutrófico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Aspectos Gerais	15
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Eutrofização	19
2.2	Nutriente Limitante	30
	Fósforo	32
2.3	Avaliação do estado trófico de lagos e reservatórios	36
2.4	Modelagem Matemática	38
2.5	Índice Morfoedáfico - MEI	52
2.6	Índice de Qualidade de Água - IQA	52
2.7	Remoção de nutrientes em sistemas de tratamentos de esgotos sanitários	56
3	ÁREA DE ESTUDO	62
4	MATERIAIS E MÉTODOS	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1	Vazão e Pluviometria	65
5.2	Variáveis Limnológicas	77
	5.2.1 Pontos Monitorados no Reservatório de Rio Bonito	77
	5.2.2 Pontos Monitorados no Rio Santa Maria da Vitória	89
5.3	Nutriente Limitante	99
5.4	Modelos Matemáticos	101
5.5	Índice Morfoedáfico - MEI	122
5.6	Índice de Qualidade de Água (IQA)	123
6	CONCLUSÕES	126
7	RECOMENDAÇÕES	127
8	REFERÊNCIAS	128
	ANEXOS I	139
	ANEXOS II	142
	ANEXOS III	148

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

A água é um recurso natural limitado e essencial para a sobrevivência humana.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997, tem como um dos fundamentos a gestão dos recursos hídricos proporcionando sempre o uso múltiplo das águas. Outro fundamento é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Segundo esta Política, a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do Brasil é uma das diretrizes para que os recursos hídricos estejam presentes para as gerações futuras.

O crescimento da população e das cidades, além do desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, gera, cada vez mais, resíduos líquidos e sólidos, os quais, quando dispostos inadequadamente, causam impactos negativos ao meio ambiente.

O descarte de efluentes com tratamento ineficiente ou “in natura” nos corpos d’água causa impactos, em diversos níveis, sobre a qualidade da água. O comprometimento da água, em termos qualitativos, pode ser decorrente de fontes difusas e pontuais, sendo necessárias medidas de controle do uso do solo e do planejamento da sua ocupação.

A poluição dos ambientes aquáticos provoca desequilíbrios à fauna, à flora e aos ciclos biogeoquímicos. A eutrofização é um desses desequilíbrios, ocorrendo principalmente em ambientes lênticos. Esse processo possui como indutor a concentração excessiva de nutrientes que implica em alterações na qualidade da água para diversos usos. A União Européia considera que a eutrofização é um processo que envolve o crescimento acelerado de algas e

plantas causado pelo excesso de nutrientes nas águas, principalmente fósforo e nitrogênio, que provoca indesejável perturbação à qualidade da água e para o equilíbrio dos organismos presentes nesse ambiente (VOLTERRA E BOUALAM, 2002).

A "eutrofização" atualmente apresenta uma perspectiva de preservar a qualidade ecológica das águas, como nas diretivas da União Europeia e vários tratados internacionais. Na União Europeia a eutrofização é mais um estado do que uma tendência e esse termo descreve as condições qualitativas de um ambiente aquático que foi interrompido, não apenas sua produtividade quantitativa (VOLTERRA E BOUALAM, 2002).

O processo de eutrofização, nas águas interiores, ocorre principalmente em lagos e reservatórios, que são ambientes lênticos. Nos rios, ambientes lóticos, as condições ambientais, como turbidez e velocidades elevadas, resultam em menor ocorrência de eutrofização (PORTO *et. al.*, 1991).

Visando melhor compreensão dos processos de modificação ou degradação ambiental de mananciais, pesquisadores estudam variáveis limnológicas, como cor, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, cloreto, nitrato, fósforo total, das águas dos ambientes aquáticos. Estas variáveis podem fornecer um diagnóstico de suas condições ecológicas, assim como, auxiliar no entendimento da dinâmica das comunidades e levantar questões relevantes quanto aos mecanismos de respostas do sistema aos estímulos internos e externos, naturais ou antrópicos (SODRÉ, 2007). Modelos matemáticos para análise do grau de trofia dos corpos d'água surgiram, a partir de pesquisas. Dentre estes modelos podem ser citados o Índice de Estado Trófico criado por Carlson (1977), o qual foi modificado para clima tropical por Lamparelli (2004), o desenvolvido por Vollenweider (1976), adaptado para ambiente tropical por Salas e Martino (1991).

A eutrofização é um problema que ocorre em vários corpos d'água localizados no Brasil e no estado do Espírito Santo. Pesquisas visando maior conhecimento desse fenômeno natural, o qual é intensificado por ações antrópicas, são fundamentais para o desenvolvimento de ações de prevenção e melhoria qualitativa de corpos de água.

O rio Santa Maria da Vitória é um dos principais mananciais de abastecimento público da Região Metropolitana da Grande Vitória/ES. Nas últimas décadas, este corpo d'água vem sofrendo degradação devido à presença de fontes contribuintes de matéria orgânica ao longo do seu percurso, como: esgotos domésticos, cultivos agrícolas, granjas, pocilgas.

Ao longo do curso do rio Santa Maria da Vitória foram construídas duas barragens e formados dois reservatórios, visando geração de energia elétrica: Rio Bonito e Suíça. O reservatório Rio Bonito vem apresentando nos últimos anos florações de cianobactérias, (CESAN, 2005 *apud* RUBIM, 2006), principalmente devido ao elevado aporte de nutrientes.

Considerando as diversas fontes poluidoras existentes na bacia do rio Santa Maria da Vitória e as condições qualitativas das suas águas, se torna muito importante o acompanhamento de variáveis limnológicas do curso d'água, para que se possam planejar adequadamente, em tempo hábil, medidas que evitem maiores prejuízos ao abastecimento de água de centenas de milhares de habitantes da Região Metropolitana e aos demais usos dos seus recursos hídricos.

1.2 Justificativa

Os principais efeitos da eutrofização são anaerobiose no corpo d'água, mortandade da fauna, toxicidade de algas, dificuldade e altos custos para o tratamento da água e redução da navegação e da capacidade de transporte (VON SPERLING, 2005).

Tendo em vista os graves prejuízos socioeconômicos e ambientais provenientes da eutrofização de corpos d'água lânticos, é de grande importância o estudo de suas causas e de medidas que possam ser tomadas para mitigação. Neste sentido, análise de características qualitativas e classificação quanto ao estado trófico para estes corpos hídricos, desenvolvidos no presente estudo, são fundamentais.

1.3 Objetivos

Geral

Maior conhecimento a respeito de modelos e índices utilizados para classificação de reservatórios quanto ao estado trófico.

Específicos

Aplicação e comparação entre modelos de classificação de corpos d'água lênticos, quanto a estados tróficos.

Como estudo de caso, classificar o reservatório de Rio Bonito quanto ao estado trófico, por meio de diferentes modelos matemáticos.

Analisar a influência de precipitações pluviométricas e sazonalidade sobre a classificação relativa a estados tróficos.

Comparar resultados obtidos a montante e a jusante do reservatório, relativos a diferentes parâmetros de qualidade de água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eutrofização

A palavra eutrofização deriva do grego e significa bem-nutrido, não equivalendo a poluição. Denota o processo de aporte natural ou artificial de nutrientes aos corpos d'água e os efeitos resultantes dessa adição. O crescimento exagerado de organismos aquáticos autotróficos (fitoplâncton e macrófitas) devido à grande oferta de nutrientes, é uma das principais características do fenômeno eutrofização. A palavra poluição deriva da palavra do latim *polluere*, que significa manchar ou sujar. A poluição da água indica que um ou mais de seus usos foram prejudicados. Uma definição de poluição seria a introdução de substâncias ou formas de energia que alterem significativamente as características naturais do ecossistema aquático (PORTO *et al.*, 1991).

Poluentes podem chegar a corpos d'água subterrâneos ou superficiais de forma pontual ou difusa. Poluição pontual chega a pontos específicos ao longo dos corpos d'água. A poluição difusa é produzida pelo carreamento das águas de chuva quando estas se movem pela superfície ou através do solo, em ambientes urbanos e rurais. Seu aporte aos recursos hídricos se dá ao longo de toda a paisagem, não possuindo, como no caso de poluição pontual, um local onde a descarga se concentre (CAIADO, 2005).

Nutrientes (nitrogênio e fósforo) são componentes fundamentais dos ecossistemas aquáticos, mas o seu aporte excessivo pode promover a eutrofização de corpos d'água receptores. Eutrofização se caracteriza pelo crescimento desordenado de microorganismos e pode tornar as águas impróprias para usos mais nobres, assim como promover mudança na composição biótica de ecossistemas aquáticos, devido à morte de animais superiores, provocada pela redução de oxigênio dissolvido nas águas. Nitrogênio e fósforo podem entrar nos corpos hídricos dissolvidos em águas de

escoamento superficial, aderidos aos sedimentos ou dissolvidos em águas de percolação (CAIADO, 2005).

A eutrofização pode ser natural ou artificial. Quando natural, é um processo gradual e contínuo que resulta do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre. Quando ocorre artificialmente, ou seja, quando é induzida pelo homem, a eutrofização é denominada de artificial, cultural ou antrópica. Neste caso, os nutrientes podem ter diferentes origens, como: efluentes domésticos, efluentes industriais e atividades agrícolas (ESTEVES, 1998).

Os nutrientes em excesso produzem mudanças em lagos e reservatórios que são consideradas prejudiciais para a função ou o uso do corpo de água. A idéia de controle de nutrientes para proteger as funções do corpo da água iniciou-se com o limnólogo sueco Einar Naumann, que elucidou a maior parte do paradigma de nutrientes, em 1929. Suas idéias sobre a relação entre nutrientes e lagos podem ser resumidas nas seguintes sentenças (EPA, 2000):

- Os principais fatores que determinam a biomassa algal são os nutrientes fósforo e nitrogênio.
- A geologia (e o tipo de uso do solo) da bacia hidrográfica determinam a quantidade de nutrientes que entram no lago.
- Alterações na biomassa afetam a biologia de todo o lago.
- A quantidade de biomassa vegetal do lago aumenta com o passar do tempo, ocorrendo envelhecimento natural e gradual.

O monitoramento da qualidade da água é uma das principais preocupações ambientais e são necessários métodos específicos para a avaliação da água em ambientes lênticos. Entre os fatores que deterioram a água doce, a eutrofização se destaca como um importante problema.

A eutrofização é um problema crescente em vários lugares do mundo. Na África Subsaariana (SSA), a eutrofização torna a integridade ecológica das águas de superfície comprometida, com populações inteiras de peixes extintos, florescências de cianobactérias tóxicas abundantes, e níveis de oxigênio

muito baixos, promovendo, assim, o crescimento de microrganismos patogênicos, como *Clostridium botulinum*. Nyenje *et al.* (2010) fez uma revisão bibliográfica sobre a liberação de nutrientes nas áreas urbanas da África subsaariana e afirma que a relação entre a eutrofização das águas superficiais e a produção de nutrientes nas várias cidades é fundamentalmente diferente da eutrofização causada, principalmente, pela agricultura na região norte. Atualmente, menos de 30% do esgoto das cidades são tratados, enquanto o restante é eliminado através de sistemas de saneamento locais, os quais descarregam suas águas residuais nas águas subterrâneas.

Murchison é uma baía do Lago Vitória, em Uganda, que sofre influência da poluição da capital Kampala. Um estudo feito por Haande *et al.* (2011) mostrou que a baía é eutrófica, com dominância de cianobactérias *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena spp.*, as quais são potencialmente tóxicas e podem oferecer riscos à população que utiliza a água.

Na Grécia, o Lago Koronia é raso e hipereutrófico. O aumento das concentrações de fosfato, a partir do final dos anos 1970, ocasionou grandes florações de cianobactérias. A percentagem de saturação de oxigênio da coluna de água aumentou progressivamente, de cerca de 80%, em 1983, para saturação total em 1993, decrescendo progressivamente para apenas 20% de saturação, em 1997. Apesar da dominância de cianobactérias, o metabolismo da comunidade do lago mudou da autotrofia progressivamente crescente para o rápido avanço da heterotrofia, associada com a redução progressiva do nível da água, levando à extinção dos peixes no lago (MITRAKI *et al.*, 2004).

Na China, o problema da eutrofização de lagos é extremamente grave. A proliferação de cianobactérias ameaça a qualidade das águas, o desenvolvimento econômico e a estabilidade da sociedade. O caso mais representativo é a floração de cianobactérias que ocorreu no lago Taihu, em 2007, resultando em escassez de água potável e para uso doméstico de 5 milhões cidadãos em Wuxi, província de Jiangsu (WANG e WANG, 2009).

Baseado em dados de fósforo, clorofila total, transparência (disco de Secchi) e nitrogênio total, 154 lagos situados em regiões do sul da província de Quebec,

Canadá, foram classificados de acordo com seus estados tróficos por Galvez-Cloutie e Sanchez (2007). Os métodos de classificação utilizados foram o da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) (OECD, 1982) e o Índice de Estado Trófico de Carlson (1977). Os resultados mostraram que, embora a maioria dos lagos pesquisados estivesse dentro de condições ótimas (estado oligotrófico), 22 lagos apresentaram necessidade de maior controle de nutrientes.

Santos e Florêncio (2001) avaliaram o estado trófico do reservatório de Duas Unas, utilizando, para isso, o modelo simplificado de estado trófico, proposto por Salas e Martino, em 1991, baseado no balanço de massa do fósforo no reservatório. Compararam o resultado obtido pelo modelo simplificado, com aqueles obtidos pelo Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson e pela Curva de Distribuição Probabilística. O resultado obtido pela utilização do modelo caracterizou o reservatório de Duas Unas como em estado inicial de eutrofização, uma vez que a concentração média de fósforo obtida apresentou-se um pouco acima da considerada como limite entre estados mesotrófico e eutrófico, para o modelo aplicado. Observaram que os resultados obtidos retrataram com certa precisão a situação do reservatório, evidenciando a adequação dos modelos simplificados para reservatórios tropicais quanto à determinação de estados tróficos. Em relação aos outros métodos que foram comparados, o IET de Carlson não se mostrou adequado, superestimando o estado trófico. A curva de distribuição probabilística, por sua vez, foi considerada boa ferramenta na indicação do estado trófico do reservatório. Mosca (2008) realizou estudo no reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte, verificando os impactos da eutrofização e a viabilidade da piscicultura nesse ambiente. Os resultados mostraram que a concentração média de fósforo total foi 106,5 µg/L, maior que 30 µg/L que é a concentração máxima para águas de Classe II segundo a resolução CONAMA 357/05. Essa concentração demonstra a necessidade urgente de projetos de manejo e recuperação da qualidade de água do reservatório, como a redução do aporte de nutrientes e o uso da piscicultura para melhor aproveitamento deste ambiente, sem prejudicar os demais usos.

Segundo Von Sperling (2005), o nível de eutrofização está associado ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica. A Figura 1 ilustra a possível sequência da evolução do processo de eutrofização em um corpo d'água, como um lago ou reservatório.

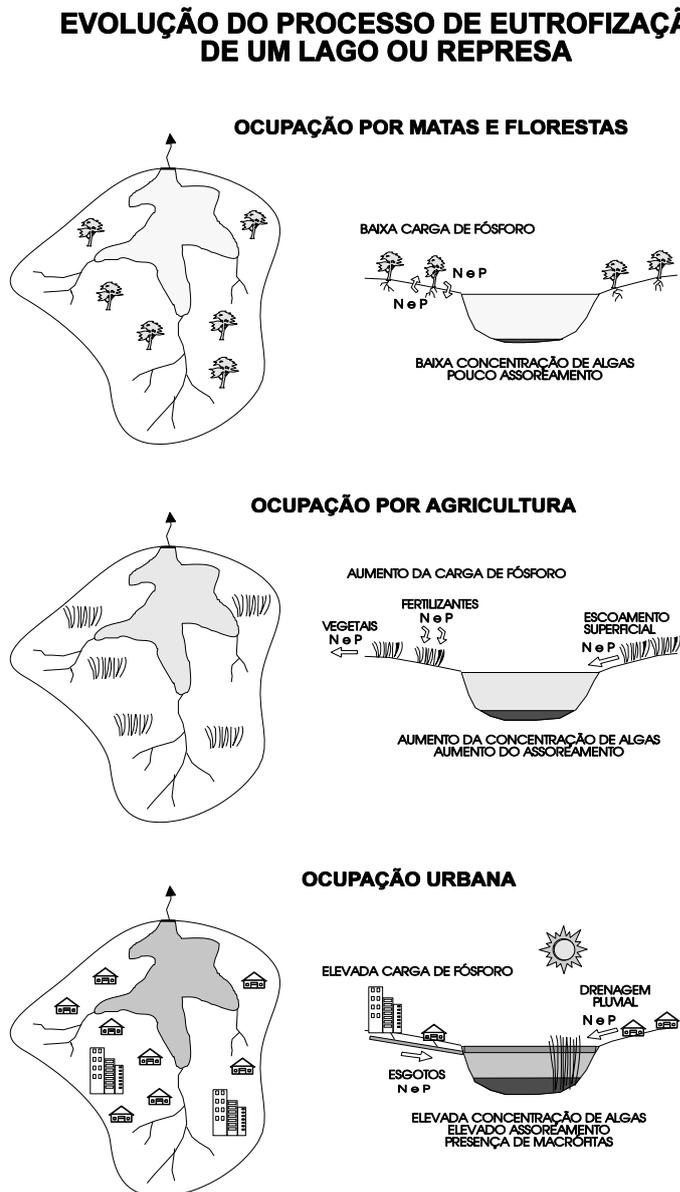


Figura 1 - Evolução do processo de eutrofização em um lago ou reservatório

Fonte: Von Sperling, 2005.

Associação entre o uso e ocupação do solo e a eutrofização (VON SPERLING, 2005):

a) Ocupação por florestas

Um lago ou reservatório situado em uma bacia de drenagem ocupada por florestas apresenta produtividade baixa, havendo pouca síntese biológica. O

ambiente lacustre tende a reter sólidos que se sedimentam, mesmo em condições naturais e de ausência de interferência humana. Há um aumento do nível de nutrientes na massa líquida, devido aos fenômenos de decomposição do material sedimentado, ainda que incipiente. Em decorrência disso, há uma progressiva elevação na população de fitoplâncton e de plantas aquáticas na massa líquida e, em consequência, de outros organismos situados em níveis superiores na cadeia alimentar.

Na bacia hidrográfica mantida em sua forma natural, a maior parte dos nutrientes é retida dentro de um ciclo quase fechado. As plantas, ao morrerem e caírem no solo, sofrem decomposição, liberando nutrientes. A capacidade de infiltração da água de chuva no solo é elevada nas regiões de matas e florestas. Assim, os nutrientes carregados pela água da chuva infiltram no solo, onde são absorvidos pelas raízes das plantas, voltando a fazer parte da sua composição, fechando, desta forma, o ciclo. Devido à infiltração e à absorção, o aporte de nutrientes ao corpo d'água é reduzido. Nessas condições, considera-se que o corpo d'água apresenta ainda um nível trófico bem incipiente.

b) Ocupação por agricultura

O desmatamento na bacia hidrográfica para a ocupação por agricultura inicia o processo de deterioração de um corpo d'água. A quebra no ciclo de nutrientes ocorre devido aos vegetais serem, muitas vezes, destinados para fora da bacia hidrográfica. Assim, há uma retirada, não compensada naturalmente, de nutrientes. Para compensar, e para tornar a agricultura mais intensiva, são adicionados, artificialmente, fertilizantes, que são produtos com elevados teores dos nutrientes, como nitrogênio e fósforo, freqüentemente superiores à capacidade de assimilação dos vegetais. Os nutrientes em excesso tendem, devido à baixa infiltração do solo, escoar superficialmente pelo terreno, podendo chegar ao lago ou represa.

A grande disponibilidade de nutrientes no corpo d'água estimula o aumento do número de algas e, em consequência, dos outros organismos, situados em degraus superiores da cadeia trófica. A alta produtividade do corpo d'água pode ser útil para certos usos, como o cultivo de determinadas espécies de

peixes. Entretanto, presença de muitas algas prejudica o tratamento de água para posterior abastecimento de populações.

c) Ocupação urbana

A ocupação urbana da bacia hidrográfica traz uma série de consequências para o corpo hídrico:

- Assoreamento. Construções de prédios, casas e pavimentação de ruas implicam em movimentos de terra e redução da capacidade de infiltração das águas no solo. As partículas de solo tendem, em consequência, a seguir pelos fundos de vale, até atingir o lago ou represa e sedimentam, devido às baixíssimas velocidades de escoamento horizontal. A sedimentação causa o assoreamento, reduz o volume útil do corpo d'água e serve de meio suporte para o crescimento de vegetais fixos de maiores dimensões (macrófitas) próximos às margens. Estes vegetais causam deterioração no aspecto visual do corpo d'água. Entretanto, podem auxiliar na assimilação de nutrientes desse ambiente.
- Drenagem pluvial urbana. A drenagem urbana transporta uma carga muito grande de nutrientes, o que contribui para elevação do número de algas no ambiente aquático.
- Esgotos. Os esgotos contêm nitrogênio e fósforo, presentes nas fezes e urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e em outros subprodutos das atividades humanas. Quando os efluentes são dispostos sem tratamento, deterioram rios, lagos, represas e ambientes marinhos. A contribuição de N e P através dos esgotos é bem superior à contribuição originada pela drenagem urbana.

Quando ocorre um período de elevada insolação (energia luminosa para a fotossíntese) em ambientes lênticos com excesso de nutrientes, as algas poderão atingir superpopulações, chamadas de florações de algas, constituindo uma camada superficial, similar a um caldo verde. Isso impede a penetração da energia luminosa nas camadas inferiores do corpo d'água, causando a morte das algas situadas nestas regiões. Alguns tipos de algas possuem toxinas que são liberadas quando morrem e podem trazer intoxicação e até a morte de

pessoas que beberem da água contaminada ou com tratamento ineficiente (VON SPERLING, 2005).

A urbanização sem estrutura e planejamento, e o uso intensivo de insumos agrícolas contribuem para o aporte de nutrientes e agrotóxicos aos corpos d'água, deste modo, acelerando o processo natural de eutrofização e afetando a qualidade da água. As principais consequências são (PORTO *et al.*, 1991):

- Problemas com o abastecimento de água, como odor, sabor desagradável e toxicidade das algas, além do entupimento dos filtros por algas.
- Interferências com a utilização recreacional do lago ou reservatório, com o aparecimento de tapetes de algas e turbidez elevada das águas.
- Variações substanciais, ao longo do dia, da concentração de oxigênio dissolvido, podendo resultar em anoxia noturna, com a consequente morte de peixes.
- Deposição de algas mortas no fundo do corpo d'água, que irá ocasionar condições aneróbias.
- Crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, causando interferências diversas, como prejuízos à navegação e à aeração.

Os fatores físicos, químicos e biológicos que determinam o estabelecimento da eutrofização estão listados a seguir (PORTO *et al.*, 1991):

Fatores físicos: a radiação solar e a temperatura fornecem condições para o crescimento de organismos fotossintéticos e são responsáveis pelo regime térmico do lago ou reservatório. A profundidade é fundamental para a ocorrência da eutrofização. Quando o corpo d'água é mais raso permite maior penetração da radiação solar e, conseqüentemente, se torna mais produtivo que os mais profundos. O tempo de retenção hidráulica, ou residência, influencia no desenvolvimento das algas, que precisam de um certo tempo para crescerem.

Fatores químicos: A proliferação de organismos fotossintéticos depende de vários nutrientes, sendo o oxigênio, o carbono, o nitrogênio e fósforo

necessários em maior quantidade. Na maioria dos corpos d'água o fósforo é o nutriente limitante. Cianofíceas são capazes de fixar o nitrogênio da atmosfera e nitrogênio inorgânico pode ser produzido por algumas bactérias e pela decomposição de matéria orgânica contendo proteínas. Esses fatores dificultam o controle de nitrogênio nos corpos d'água.

Fatores biológicos: a principal consequência imediata da eutrofização é o crescimento excessivo de organismos fotossintéticos. Esses seres, por meio da fotossíntese, produzem matéria orgânica nova a partir de nutrientes inorgânicos, que determinam a eutrofização. A produção de oxigênio pela fotossíntese só ocorre durante as horas do dia em que há luz solar e a respiração das algas ocorre de forma contínua. Assim, em condições de eutrofização com muitas algas, durante o dia há muito oxigênio, enquanto de noite há pouco. O aumento excessivo da produção de matéria orgânica gera consequente aumento de detritos orgânicos que serão decompostos, na região bentônica, por processos anaeróbios. Esse processo de decomposição traz o surgimento de gases tóxicos, como metano e gás sulfídrico, para a maioria dos organismos aquáticos (PORTO *et al.*, 1991). A floração de algas faz diminuir o pH nos momentos em que há maior taxa de fotossíntese. Assim, a amônia apresenta-se em grande parte na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes, ao invés de na forma ionizada (NH_4^+), não tóxica, ocasionando a mortandade de peixes (VON SPERLING, 2005).

No Brasil, até meados da década de 1990, a relação da degradação dos mananciais com a Saúde Pública se restringia à contaminação da água por agentes causadores de doenças de veiculação hídrica, principalmente várias espécies de bactérias, protozoários, vermes e alguns vírus. A partir de 1996, após o trágico caso que culminou com a morte de cerca de 60 pacientes renais crônicos submetidos à hemodiálise em uma clínica na cidade de Caruaru, Pernambuco, descobriu-se que havia outro fator muito importante e, muitas vezes, desconsiderado pelas autoridades competentes e pela própria população, que poderia ser responsável pela morte do homem via ingestão de água: as toxinas produzidas biologicamente que poderiam estar presentes na água servida à população (CHORUS e BARTRAM, 1999). Contudo, além da produção de toxinas, há muito se conhece outros problemas que a proliferação

de microalgas pode causar aos mananciais de abastecimento, principalmente devido à modificação das suas características organolépticas (cor, sabor e odor), tornando, muitas vezes, o tratamento mais oneroso e trazendo problemas às companhias que são responsáveis pelo tratamento da água em diversas localidades (FERNANDES *et al.*2007).

Fernandes *et al.* (2007) realizaram testes para avaliar o processo de remoção de algas da água proveniente do reservatório de Duas Bocas, usada para abastecimento doméstico. O processo de flotação juntamente com duas substâncias químicas (sulfato de alumínio, já largamente utilizada como agente coagulante em ETAs) e PAC – policloreto alumínio associado ao peróxido de hidrogênio como agente oxidante, mostraram elevada eficiência (até 89%) de remoção de algas fitoplanctônicas, incluindo as cianobactérias. No estudo, os autores recomendam pesquisas futuras para a remoção de cianobactérias menores, que não foram removidas, e de cianotoxinas.

Pessanha *et al.*(2008) fizeram uma avaliação qualitativa de cianobactérias perifíticas e fitoplanctônicas de um manancial de abastecimento público do Espírito Santo no baixo rio Santa Maria da Vitória e sugeriram a realização de monitoramento ambiental das cianobactérias perifíticas, principalmente em águas destinadas ao abastecimento doméstico, uma vez que este grupo apresenta representantes potencialmente tóxicos.

Fernandes *et al.*(2009) realizaram estudos sobre o potencial de floração de cianobactérias na lagoa Mãe-Bá, localizada no Espírito Santo. Concluíram que esse corpo d'água representa um ecossistema com potencial floração de cianobactérias, inclusive com possibilidade de produção de toxinas, sendo o fósforo o principal fator limitante à ocorrência de florações permanentes neste ecossistema.

A caracterização do estágio de eutrofização de um corpo d'água acontece de acordo com seguintes níveis de trofia (PORTO *et al.*,1991):

- Oligotróficos: pobre em matéria orgânica e nutrientes, tanto em suspensão como no fundo. A disponibilidade de plâncton é bastante limitada. Suas águas são claras, com altos teores de oxigênio.
- Mesotróficos: produtividade média, representa um estágio intermediário.

- Eutróficos: apresentam alto nível de produtividade quando comparados com os níveis naturais. São ricos em matéria orgânica e elementos minerais tanto em suspensão como na região bentônica. Em corpos d'águas profundos não há oxigênio dissolvido no fundo.

As estratégias de controle de eutrofização usualmente adotadas podem ser medidas preventivas ou corretivas (VON SPERLING, 2005).

- Medidas preventivas (atuação na bacia hidrográfica): redução das fontes externas, tratamento de efluentes domésticos e industriais e controle da drenagem pluvial.
- Medidas corretivas (atuação no lago ou reservatório):

Processos mecânicos: aeração, remoção de algas, remoção de sedimentos, etc.

Processos químicos: precipitação de nutrientes, uso de algicidas, etc.

Processos biológicos: uso de peixes herbívoros, etc.

Freire e Bollmann (2005) verificaram uma relação direta da densidade populacional com a presença de esgotos não tratados nos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Irai, localizada no Paraná. Concluíram que a baixa densidade populacional nas áreas de drenagem das bacias hidrográficas e o alto nível de atendimento de coleta e tratamento de esgotos, além da coleta e disposição final dos resíduos sólidos são essenciais para a manutenção da qualidade das águas utilizadas para abastecimento público em regiões de mananciais.

Gulati e Donk (2002) estudaram lagoas eutrofizadas da Holanda e métodos de restauração. Foram utilizados diversos métodos, como introdução de peixes herbívoros, redução da carga de fósforo por meio de tratamento de efluentes e introdução de macrófitas para absorção de nutrientes, considerando que, mesmo retirado o aporte de nutrientes, esses podem voltar do sedimento no fundo do corpo hídrico para a coluna d'água.

Na China foi realizado um experimento com a água eutrofizada do lago Chaohu. A planta aquática *I. aquática*, encontrada na Ásia, sofreu um melhoramento por meio da adição de íons, apresentou bons resultados na

biorremediação de águas eutrofizadas, pelo aumento na eficiência na remoção de nutrientes (MIAO, *et al.*, 2009).

2.2 Nutriente Limitante

A eutrofização das águas pode ser avaliada potencialmente pela determinação das concentrações de fósforo e nitrogênio na água, pois os íons nitrato e fosfato são normalmente os nutrientes limitantes (PORTO *et al.*, 1991).

Von Sperling (2005) define nutriente limitante como sendo aquele, que por ser essencial para uma determinada população, limita seu crescimento. Em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional é baixo. Com a elevação da concentração do nutriente limitante, o crescimento populacional também aumenta.

Os nutrientes primários, nitrogênio e fósforo, são utilizados até o momento em que o crescimento estiver completo e a exaustão de qualquer destes nutrientes paralisa o crescimento do fitoplâncton.

No Programa Regional do CEPIS (Centro Pan-Americano para Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais), Salas e Martino (1991) utilizaram para a definição de nutriente limitante proposta por Vollenweider (1976) de nitrogênio total para fósforo total de 9:1, para o fitoplâncton. Conseqüentemente, lagos que constam no Programa com razões de N para P maiores que 9 foram considerados potencialmente limitados pelo fósforo, enquanto aqueles com razões menores que 9 foram considerados limitados pelo nitrogênio.

Segundo Salas e Martino (1991), a maioria dos lagos tropicais da América Latina é limitada por fósforo, pois mesmo que se controle o aporte externo de nitrogênio, há algas com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico. Por essas razões, prefere-se dar uma maior prioridade ao controle das fontes de fósforo quando se pretende controlar a eutrofização em corpos de água.

A constituição da biomassa algal, segundo Von Sperling (2001), é normalmente obtida da relação de Redfield *et al.* (1963) ($C_{106}H_{118}O_{45}N_{16}P$), a qual indica que as algas, em média, demandam 16 vezes mais nitrogênio do que fósforo. As concentrações totais de nitrogênio e de fósforo devem ser divididas pelas suas respectivas massas atômicas (14 e 31), sendo depois realizada a razão entre N e P para se obter o nutriente limitante. Se o resultado for consideravelmente superior a 16 há indicação de que o fósforo seja o nutriente limitante, caso menor, o nitrogênio será o limitante.

Em corpos d'água tropicais que recebem descargas de esgotos, o nitrogênio tem assumido o papel de nutriente limitante na eutrofização. Isso devido à relação média N/P nos esgotos domésticos ser 8. Além disso, a ocorrência de processos de desnitrificação (perda de nitrogênio por volatilização) e de fertilização interna (liberação de fósforo do sedimento) também contribuem para que o nitrogênio esteja presente em concentrações inferiores à demanda algal, convertendo-se portanto no nutriente limitante. Nesses casos o crescimento das algas azuis (cianobactérias), que possuem espécies capazes de fixar o nitrogênio diretamente da atmosfera, pode acarretar sérios problemas, devido ao potencial de toxicidade e dificuldade nos processos de tratamento da água (VON SPERLING, 2001).

Tundisi (2003) considera também que o fósforo, proveniente das fontes antropogênicas proporciona o crescimento do fitoplâncton e plantas aquáticas. O excesso de fósforo comparado com a quantidade disponível de nitrogênio pode tornar esse nutriente limitante.

O reservatório Tulé, localizado na Venezuela, estudado por Páez *et al.* (2001) teve a razão N:P igual a 12,8:1, indicando como nutriente limitante o fósforo.

O estudo de Fernández *et al.* (2011), do reservatório Paso de las Piedras, localizado na Argentina mostrou que os parâmetros mais importantes associados a florações das algas foram temperatura da água e concentração de fósforo. As cianobactérias dominaram durante o verão e início do outono, algas verdes durante o outono e início do inverno, e diatomáceas durante o inverno e a primavera.

Em ambientes aquáticos de clima quente, a elevada taxa de assimilação de nutrientes, associada à alta taxa de reciclagem, provoca a ocorrência de um intenso grau de produtividade. Dessa forma, em regiões de clima permanentemente quente e iluminado, lagos e reservatórios têm capacidade de metabolizar quantidades de nutrientes muito maiores do que aqueles de clima frio, originando assim, populações de pico muito menos numerosas e freqüentes. Esta maior capacidade de metabolizar quantidades de nutrientes permite que os valores limites para cada categoria trófica sejam mais elevados, em relação a corpos d'água de clima frio. Portanto, os valores limites de níveis tróficos estabelecidos para lagos temperados são inadequados para os lagos e reservatórios de clima tropical, por se tratarem de ambientes aquáticos com comportamentos funcionais distintos (SILVA, 1998).

LV, *et al.* (2011) estudaram os efeitos do nitrogênio e fósforo sobre a composição do fitoplâncton e da biomassa em 15 lagos, rasos, subtropicais e urbanos localizados em Wuhan, China. A temperatura e a concentração de fósforo total foram os principais limitadores de crescimento do fitoplâncton. Entretanto, no verão a dominância das espécies de fitoplâncton não foi limitada por nutrientes. Baixas razões de NT:PT (< 10) foram acompanhadas de poucas ocorrências de cianobactérias fixadoras de nitrogênio o que acarretou que a baixa razão NT:PT nem sempre deslocasse a dominância da comunidade fitoplanctônica para as cianobactérias que fixam nitrogênio. Além disso, o PT sempre teve maior correlação com a clorofila *a* do que com o NT, mesmo quando a razão de NT: PT da maioria das amostras fossem menores do que 10. Assim, foi concluído que a relação de NT:PT nem sempre é adequada para determinar se o nitrogênio ou fósforo limita a biomassa do fitoplâncton em lagos rasos urbanos eutróficos.

Fósforo

O fósforo, cujas fontes naturais são o desgaste de minerais contendo fosfato e a decomposição da matéria orgânica, é disponível às plantas aquáticas

somente nessa forma de fosfato, principalmente o ortofosfato, sendo utilizado pelas células vivas para a transferência de energia. Sua forma solúvel é retirada do solo pelas plantas e, com a decomposição da matéria orgânica, reverte a formas inorgânicas, podendo ser perdido por erosão do solo e depositado nos sedimentos de córregos, rios, reservatórios, estuários e oceanos (BARCELLOS, 2006), como representado na Figura 2.

A maioria dos pesquisadores tem se utilizado de uma classificação mais sumária, que agrupa as várias formas em apenas cinco: fosfato particulado (P - particulado), fosfato orgânico dissolvido (P - Orgânico dissolvido), fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo (P-orto), fosfato total dissolvido (P - total dissolvido) e fosfato total (P - total).

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos - fósforo que compõe moléculas orgânicas de origem fisiológica, ortofosfatos (fosfatos inorgânicos) – radicais PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} e $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e polifosfatos (fosfatos inorgânicos) ou fosfatos condensados – polímeros de fosfato (GUALBERTO, 2009). Os fosfatos inorgânicos têm origem em detergentes e outros produtos.

O fósforo nos detergentes ocorre, na água residuária bruta, na forma de polifosfatos solúveis ou, após hidrólise, na forma de ortofosfatos. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. A forma em que os ortofosfatos se apresentam na água depende do pH, PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- e H_3PO_4 . Em esgotos domésticos típicos a forma predominante é o HPO_4^{2-} . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. Os polifosfatos se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise, a qual é um processo lento, embora parte ocorra no próprio sistema de coleta de esgotos. Modelos matemáticos de tratamento de esgotos usualmente consideram estas duas formas de fosfatos como estando todas na forma de ortofosfatos, já que, após hidrólise, todos estarão presentes nesta forma. O fósforo dos detergentes pode apresentar até 50% da concentração de fósforo total nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 2005).

Outra classificação do fósforo é em relação a sua forma como sólido:

Fósforo solúvel: predominantemente inorgânico, principalmente polifosfatos e ortofosfatos (fósforo inorgânico), acrescidos de uma pequena fração correspondente de fósforo ligado à matéria orgânica solúvel dos esgotos.

Fósforo particulado: todo na forma orgânica, ligado à matéria orgânica particulada dos esgotos.

O fósforo pode ser transportado para o sedimento do corpo hídrico e depois ser disponibilizado novamente para a coluna d'água. Uma das formas de liberação do fósforo no corpo aquático ocorre por meio da ressuspensão do sedimento. A mobilização dos diferentes tipos de fósforo dentro do sedimento para a água pode ocorrer via reações bioquímicas, como mineralização, autólise das células ou por dissolução (BORGES, 1998).

A liberação do íon fosfato para a água ocorre mais facilmente em condições de baixas concentrações de oxigênio e em anaerobiose. Nestas condições, não ocorre precipitação do fosfato pelo ferro, pois o mesmo se encontra no estado de oxidação como íon Fe^{2+} . Nessas condições, o fosfato permanece solúvel (ESTEVES, 1998).

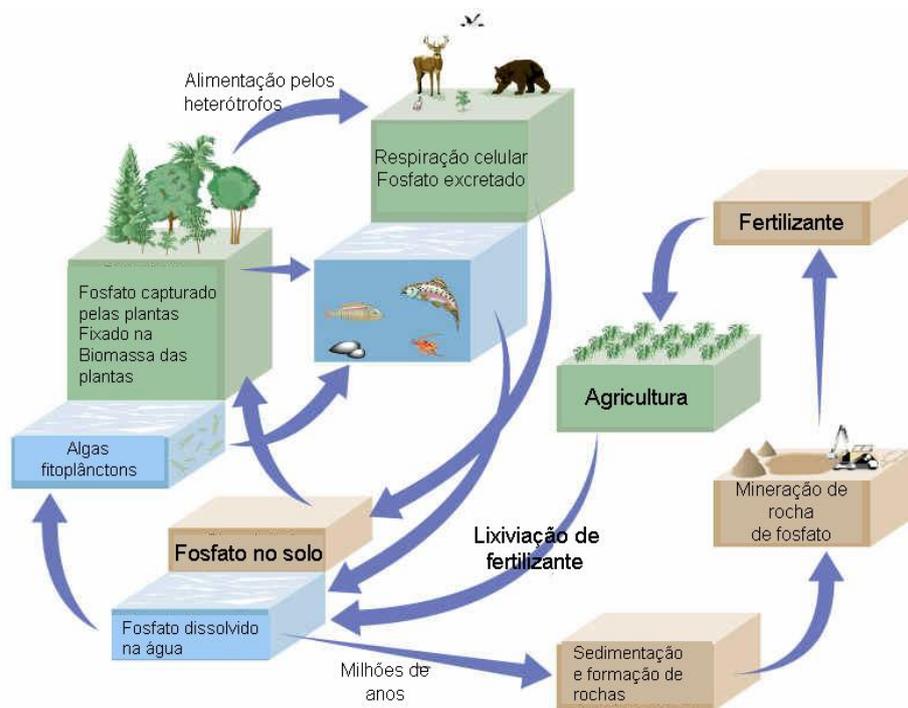


Figura 2- Etapas representativas do Ciclo do fósforo

Fonte: Adaptado de <http://arnica.csustan.edu/carosella/biol4050w03/figures/phosphorus_cycle.htm>

A presença de ferro, alumínio, cálcio, e eventualmente, manganês, e outros coagulantes naturais, ajuda a precipitar parte do fosfato em solução, principalmente o fosfato dissolvido. O fosfato que se encontra aderido a argilas, é referenciado como fosfato particulado. Sob condições de redução, em regiões anaeróbias, mobilizado por bactérias, o fosfato precipitado pode ser devolvido ao meio aquático, aumentando a concentração dissolvida e as chances de eutrofização. Um nível de fosfato de 0,02 mg/l previne a floração de algas, mas concentrações menores que 0,003 mg/l indicam nichos ecológicos deficientes em fósforo (PORTO *et. al.*,1991).

Em águas não poluídas as concentrações costumam variar entre 0,005 e 0,020 mg/l de fosfato. Esgotos, particularmente aqueles contendo detergentes, efluentes industriais e fertilizantes contribuem para aumento da concentração de fósforo em corpos d'água. Os polifosfatos são adicionados aos detergentes e sabões, atuam como sequestrantes e se ligam principalmente aos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} e formam complexos solúveis, aumentando a eficiência da limpeza. O sistema sequestrante é o principal componente dos detergentes em pó (BORGES, 1998).

As principais fontes de fósforo que afluem a uma lagoa ou reservatório são (VON SPERLING, 2005):

- Efluentes domésticos.
- Drenagem pluvial: área com matas e florestas, áreas agrícolas, áreas urbanas.

A contribuição de nutrientes por meio dos efluentes costuma ser bem superior à contribuição da drenagem pluvial de acordo com a Tabela 1 (VON SPERLING, 2005).

Tabela 1 - Contribuições unitárias de fósforos típicas

Fonte	Tipo	Valores típicos	Unidade
	Áreas de matas e florestas	10	kgP/km ² .ano
Drenagem	Áreas agrícolas	50	kgP/km ² .ano
	Áreas urbanas	100	kgP/km ² .ano
Efluentes	Domésticos	1,0	kgP/hab.ano

Bollmann e Freire (2003) estudaram os reservatórios situados na Região Metropolitana de Curitiba (Altíssimo Iguaçu), os quais apresentam condições favoráveis à ocorrência de florações de algas cianofíceas. Dentre os fatores relevantes, a disponibilidade de macro-nutrientes foi apontada como chave para deflagrar os eventos de floração. Recomendaram o gerenciamento de ações visando à melhoria das condições das águas do reservatório, principalmente no que concerne ao controle do fósforo, que é o macro-nutriente limitante ao crescimento das algas responsáveis pelas florações locais (*Anabaena spp* e *Microcystis spp*).

2.3 Avaliação do estado trófico de lagos e reservatórios

O conceito de trofia em ecossistemas aquáticos representa a intensidade de produção primária nesses ambientes. Quanto maior o grau de trofia, mais intensa é a formação de biomassa e, portanto, maior será o consumo de oxigênio para a sua decomposição. O nível trófico de um lago ou reservatório pode ser indicado pela medição dos parâmetros relacionados com o conteúdo de oxigênio dissolvido, produtividade das algas e quantidade de nutrientes (SILVA,1998).

Nos lagos tropicais a temperatura não tem efeitos tão significativos sobre a variação temporal do fitoplâncton como em lagos temperados, pois está sempre acima dos valores limitantes ao crescimento. A variação temporal do fitoplâncton em lagos tropicais é controlada por outros fatores, como a disponibilidade de nutrientes e a radiação subaquática. A disponibilidade de nutrientes é controlada por fatores externos ao ecossistema, sendo os mais importantes: ventos, precipitação e radiação incidente. Estes, em grande parte, interferem nos fatores internos controladores da disponibilidade de nutrientes: turbulência, estratificação e desestratificação da coluna d'água e taxa de decomposição. A variação temporal da comunidade fitoplanctônica em lagos

tropicais também pode ser controlada por fatores bióticos como herbivoria e parasitismo (Esteves, 1998).

O reconhecimento dos fatores mais importantes na determinação das variações temporais nas represas e lagos rasos tropicais é difícil devido à ocorrência de maior turbulência nesses ambientes.

Veiga (2010) estudou o reservatório dos Alagados no Paraná, Brasil, e verificou uma concordância entre a ocorrência de ventos mais intensos e uma maior concentração de clorofila *a*. Essa hipótese foi reforçada pela não ocorrência de estratificação e pelas reduções das concentrações de fósforo total nos sedimentos no período monitorado, primeiro semestre de 2009.

Nos lagos temperados as condições anaeróbias no hipolímnio (região profunda, com menor temperatura e maior densidade) são indicativas de eutrofização. Em regiões tropicais, a estratificação térmica (aquecimento diferenciado do corpo d'água ao longo de sua profundidade) de lagos e reservatórios é uma característica permanente ou semi-permanente, devido às altas temperaturas nessas regiões. Os lagos permanecem praticamente todo o ano estratificados, ocorrendo a sua desestratificação apenas no inverno. Também devido às altas temperaturas, as taxas de decomposição da matéria orgânica são maiores em relação aos lagos de clima temperado. Devido a esses motivos, condições anaeróbias prevalecem em quase todos os hipolímnios tropicais, independentes de seus respectivos níveis tróficos (SILVA,1998).

Os três parâmetros básicos para a classificação trófica de lagos e reservatórios são: transparência, concentração de fósforo e concentração do pigmento clorofila-*a*.

Marshall Falconer (1973), baseado em experiência no Zimbábue, sugerem a supersaturação de oxigênio dissolvido no epilímnio (região superficial do corpo d'água, com maior temperatura e menor densidade) como indicador de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais.

De forma a se caracterizar com uma particularidade ainda mais elevada os corpos d'água, há outras classificações com outros níveis tróficos, tais como: ultraoligotrófico, oligotrófico, oligomesotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico,

eutrófico, eupolitrófico, hipereutrófico (listados da menor para a maior produtividade) (VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 2 é apresentada a caracterização trófica de lagos e reservatórios, de acordo com algumas características.

Tabela 2 - Caracterização trófica de lagos e reservatórios

Item	Classe de trofia				
	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Biomassa	Bastante baixa	Reduzida	Média	Alta	Bastante alta
Fração de algas verdes e/ou cianofíceas	Baixa	Baixa	Variável	Alta	Bastante alta
Macrófitas	Baixa ou ausente	Baixa	Variável	Alta ou baixa	Baixa
Dinâmica de produção	Bastante baixa	Baixa	Média	Alta	Alta, instável
Dinâmica de oxigênio na camada superior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável em torno de supersaturado	Frequente de supersaturado	Bastante instável, de supersaturado à ausência
Dinâmica de oxigênio na camada inferior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável abaixo da saturação	Abaixo da saturação completa ausência	Bastante instável, de supersaturado à ausência
Prejuízo aos usos múltiplos	Baixo	Baixo	Variável	Alto	Bastante alto

Fonte: Von Sperling (2005).

2.4 Modelagem Matemática

Existem vários métodos e índices para se avaliar o estado trófico de lagos e reservatórios. A maioria deles foi desenvolvida para ambientes de clima

temperado. Desta forma, sua aplicação em regiões tropicais deve ser feita de forma cuidadosa. O índice mais amplamente utilizado é o Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), devido à sua simplicidade e por englobar parâmetros de qualidade da água importantes. A seguir, são apresentados alguns modelos utilizados para a indicação do nível trófico de corpos d'água lênticos:

a) Vollenweider quantificou o processo de eutrofização por meio do desenvolvimento de um modelo de equilíbrio de massa, utilizando dados da literatura a respeito de lagos de clima temperado. Demonstrou uma forte relação entre as entradas de nutrientes e a concentração de nutrientes dentro do lago. Essa relação mostrou que carga de nutrientes, alterações na morfologia, hidrologia, e assoreamento do lago são os principais fatores que causam a eutrofização em lagos (EPA, 2000).

A equação empírica desenvolvida por Vollenweider (1976) para ambientes temperados é expressa na forma:

$$P_r = \frac{L_c}{q_s (+\sqrt{t})} \quad (1)$$

P_r = concentração de fósforo no reservatório (mg P/m³)

L_c = carga crítica de fósforo sobre a represa (mg P/m² . ano)

q_s = taxa de aplicação hidráulica = z/t (m/ano)

z = profundidade média = V/A (m)

t = tempo de detenção hidráulica = V/Q (anos)

V = volume do reservatório (m³)

A = área superficial do reservatório (m²)

Q = vazão afluente ao reservatório (m³/ano)

Silva (1998) comparou modelos de eutrofização. Um deles foi o de Vollenweider (1976), entretanto, os resultados de fósforo no corpo hídrico que ficaram mais próximos da realidade foram os do modelo de Salas e Martino, o qual foi adaptado para ambiente tropical.

b) Salas e Martino (1991) desenvolveram, a partir do índice de Vollenweider, considerando o estudo de 40 lagos e reservatórios da América Latina e Caribe, o seguinte modelo:

$$P_{\lambda} = \frac{L(P)}{\bar{Z}/T_w \left(+ 2\sqrt{T_w} \right)} \quad (2)$$

P_{λ} = fósforo total (mg/L)

$L(P)$ = taxa de carga de fósforo total superficial ($\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$)

\bar{Z} = profundidade média do lago (m)

T_w = tempo de detenção (ano)

Salas e Martino (1991) consideraram o modelo empírico de fósforo total com os limites fixos de 0,030 e 0,070 mg/l, que separa as classificações oligotrófica/mesotrófica e mesotrófica/eutrófica.

Através do Modelo Simplificado de Estado Trófico para o fósforo, proposto por Salas e Martino (1991) para lagos tropicais, foi obtida para o reservatório de Duas Unas, por Santos e Florêncio (2001), a concentração de fósforo total de 0,078 mgP /L que, de acordo com as faixas de concentração fixadas pelos mesmos autores, indica um estado eutrófico.

c) Índice de Estado Trófico (IET) (CARLSON,1977) – este índice engloba lagos numa escala numérica de 0 a 100, sendo que cada divisão (10, 20, 30, etc.) representa a capacidade de dobrar a biomassa algal. O índice é calculado para fósforo total, clorofila *a* e transparência da água, sendo:

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \right) \quad (3)$$

onde:

$\ln DS$ =logaritmo neperiano da transparência da água medida através de disco de Secchi (m)

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

$$IET(cia) = 10 \left(6 - \left(\frac{2,04 - 0,68 \ln Cia}{\ln 2} \right) \right) \quad (4)$$

onde:

$\ln Cia$ = logaritmo neperiano da clorofila a (mg m^{-3})

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln 48 / PT}{\ln 2} \right) \right) \quad (5)$$

onde:

$\ln PT$ = logaritmo neperiano de fósforo total (mg l^{-1})

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

O Índice de Estado Trófico (IET) representa a capacidade dos lagos de dobrar a biomassa algal. Porém, não indica o estado trófico do lago. Para esta finalidade Kratzer e Brezonick (1981), descreveram o nível trófico de lagos baseados no IET, conforme segue:

Tabela 3 - Classificação do IET de Carlson (1977)

Categoria Estado Trófico	IET
Ultra oligotrófico	$IET < 20$
Oligotrófico	$21 < IET \leq 40$
Mesotrófico	$41 < IET \leq 50$
Eutrófico	$51 < IET \leq 60$
Hipereutrófico	$IET > 61$

Santos e Florêncio (2001) realizaram a aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), para o fósforo, no reservatório Duas Unas, que indicou estado eutrófico, com valor de 56,5, considerando a concentração média de fósforo total de 0,051 mg/L, obtida analiticamente para o reservatório. Observou que se a concentração de fósforo obtida pelo Modelo Simplificado proposto por Salas e Martino, fosse aplicada ao IET de Carlson (1977), desenvolvido para lagos temperados, o resultado obtido para o IET, 62,6, indicaria estado hipereutrófico, superestimando dessa forma o grau de trofia no reservatório.

Moschini-Carlos *et al.*(2007) estudaram o reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba - SP) por meio do IET de Carlson (1977), o qual classificou as águas em um ponto de monitoramento como eutróficas, exceto a 6,0 m de profundidade na zona afótica, pois essa região apresentou-se como mesotrófica. Já em outro ponto no início da coluna d'água (entre 0,0 e 2,0m de profundidade) foi classificada como mesotrófica, tornando-se eutrófica entre 4,0 e 6,0 m de profundidade e mesotrófica novamente entre 8,0 e 11,0 m de profundidade (zona afótica). Concluíram que isso se deve aos impactos dos rios formadores da bacia do Alto Sorocaba, relacionados com a poluição difusa da produção agrícola e a carga orgânica das cidades.

O lago Geneva, localizado em Walworth County, EUA, foi monitorado entre os anos de 1997 e 2000. Segundo Robertson *et al* (2002), de acordo com o IET de Carlson (1977), as águas do lago variaram entre mesotróficas e oligotróficas.

Murthy *et al* (2008) utilizaram o IET de Carlson (1977), devido à sua simplicidade, em nove lagos no estado de Karnataka, na Índia, e sugeriram medidas de conservação dos mesmos. Cinco lagos foram considerados hipereutróficos, os quais apresentam muitas algas, espumas e cheiro desagradável. Um lago foi considerado mesotrófico, apresentando moderada transparência, e os outros três lagos eutróficos, com baixa profundidade, algas, peixes de águas quentes e anoxia nas regiões profundas no verão. As ações propostas para melhoria da qualidade das águas seriam a retirada das algas e redução do aporte de fósforo. Para condições extremas foi indicada a drenagem de toda a água do lago e recarga do mesmo por meio da água da chuva.

Suli *et al.* (2011) desenvolveram um modelo que inclui o IET de Carlson (1977) e a densidade das espécies de algas mais tóxicas encontradas em reservatórios. O modelo foi aplicado em um reservatório localizado na Sardenha, Itália, e considerou as cianobactérias como algas mais tóxicas. O estudo mostrou que o modelo é simples e pode auxiliar na estimativa de disponibilidade de água para tratamento, de acordo com a densidade das algas tóxicas. Nos reservatórios Cixerri e Barrocos, nos quais a proliferação de algas ocorre com freqüência durante a primavera e o verão, os altos valores da densidade de cianobactérias tóxicas causaram reduções de disponibilidade de água de 47,1% em Cixerri e 42,7% em São Barrocos. A redução foi necessária porque a densidade de cianobactérias excedeu o valor máximo da qualidade da água para uso a jusante e as estações de tratamento de água locais não conseguem eliminar as cianotoxinas.

Ramírez *et al.* (2008), por meio do IET de Carlson (1977), classificaram o Lago Guajataca como mesotrófico e o Lago Cerrillos entre oligotrófico e mesotrófico. Os lagos estão localizados em Porto Rico.

Dez reservatórios localizados nas regiões das montanhas da Coréia do Sul foram classificados entre mesotróficos e eutróficos, segundo o IET de Carlson (1977). O fósforo foi considerado nutriente limitante. A redução da aplicação de fertilizantes, o tratamento adequado dos resíduos sólidos e a conservação de solo foram medidas propostas para diminuição da eutrofização do lago, segundo Kim *et al.* (2001).

d) IET de Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1984). Toledo *et al.* (1984) modificaram o IET de Carlson (1977) para adaptá-lo a ambiente subtropical, sendo:

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \left(\frac{0,64 + \ln DS}{\ln 2} \right) \right) \quad (6)$$

onde:

ln DS =logaritmo neperiano da transparência da água, medida através de disco de Secchi (m)

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

$$IET(Cla) = 10 \left(6 - \left(\frac{2,04 - 0,695 \ln Cla}{\ln 2} \right) \right) \quad (7)$$

onde:

$\ln Cla$ = logaritmo neperiano da clorofila a (mg m^{-3})

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln 80,32 / PT}{\ln 2} \right) \right) \quad (8)$$

onde:

$\ln PT$ = logaritmo neperiano de fósforo total (mg l^{-1})

$\ln 2$ = logaritmo neperiano de 2

Os níveis tróficos de lagos, baseados no IET segundo Toledo *et. al.* (1984), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Categoria de estado trófico, segundo Toledo *et. al.* (1984)

Categoria Estado Trófico	IET
Ultraoligotrófico	$IET \leq 24$
Oligotrófico	$24 < IET \leq 44$
Mesotrófico	$44 < IET \leq 54$
Eutrófico	$54 < IET \leq 74$
Hipereutrófico	$IET > 74$

e) IET modificado por Lamparelli (2004)

O IET de Carlson (1977) foi modificado por Toledo *et. al.* (1984). Esse novo índice foi alterado por Lamparelli (2004), a partir de dados da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo da CETESB. Foram 34 pontos amostrados em reservatórios e 35 em rios.

As equações 9, 10 e 11 foram propostas por Lamparelli (2004) para o cálculo de Índices de Estado Trófico, para fósforo total, para clorofila e global.

$$IET(PT) = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln PT) / \ln 2)) \quad (9)$$

$$IET(CL) = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CL)) / \ln 2)) \quad (10)$$

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 \quad (11)$$

Onde,

CL: Clorofila Total µg/L

LN: Logaritmo Natural

PT: Fósforo Total µg /l

A Tabela 5 apresenta as classes de IET modificado por Lamparelli (2004), de acordo com a transparência, concentrações de fósforo total e clorofila a, e ponderação.

Tabela 5 - Classificação segundo IET modificado por Lamparelli (2004)

Categoria estado trófico	Ponderação	Transparência S(m)	P-total (mg.m⁻³)	Clorofila a (mg.m⁻³)
U	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
O	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
M	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
E	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
SE	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
HE	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

Onde: U: Ultraoligotrófico, O: Oligotrófico, M: Mesotrófico, E: Eutrófico, SE: Supereutrófico, HE: Hipereutrófico.

As equações 12, 13 e 14 apresentam as equações propostas dos Índices de Estado Trófico modificado por Lamparelli (2004), para fósforo total, clorofila a e global, para rios.

$$IET(CL) = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln CL)) / \ln 2)) - 20 \quad (12)$$

$$IET(PT) = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln PT)) / \ln 2)) - 20 \quad (13)$$

$$IET = [IET(PT) + IET(CL)] / 2 \quad (14)$$

Onde,

CL: Clorofila Total $\mu\text{g/L}$

LN: Logaritmo Natural

PT: Fósforo Total $\mu\text{g/l}$

A Tabela 6 apresenta as classes de IET modificado por Lamparelli (2004), de acordo com as concentrações de fósforo total, clorofila a e ponderação.

Tabela 6 - IET para Rios

Categoria Estado Trófico	Ponderação	P-total (mg/m^3)	Clorofila a (mg/m^3)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 13$	$\text{CL} \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < \text{CL} \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < \text{CL} \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < \text{CL} \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < \text{CL} \leq 7,46$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$640 < P$	$7,46 < \text{CL}$

Garcia *et al* (2007) classificaram o reservatório de Ilha Solteira entre ultraoligotrófico e eutrófico segundo o IET de Lamparelli (2004). Essa amplitude de grau trófico mostrou a maior sensibilidade a mudanças desse índice, quando comparado ao IET de Carlson (1977) modificado por Toledo *et. al.* (1984).

f) Índice de Estado Trófico da Flórida desenvolvido por Brezonik (1984)

Baseia-se no IET de Carlson (1977), considerando os parâmetros fósforo, clorofila a e nitrogênio total. Foram feitas análises em 313 lagos da Flórida. O Índice de Estado Trófico da Flórida é baseado em concentrações de fósforo e de nitrogênio, em função do nutriente limitante (Eq 20,21 e 22). Caso o lago apresente relação nitrogênio/fósforo maior que 30, o fósforo é considerado o limitante. O nitrogênio é considerado limitante se a relação nitrogênio/ fósforo for menor que 10. Quando a relação resulta entre 10 e 30 os dois nutrientes são considerados equilibrados. O índice do nutriente é baseado unicamente em fósforo se a relação for superior a 30 (Eq 19 e 20), exclusivamente baseado em nitrogênio se inferior a 10 (Eq 17 e 21), ou em ambos, nitrogênio e fósforo, se o valor for entre 10 e 30 (Eq 16, 18 e 22). O Índice de Estado Trófico (Eq 23) é

baseado na média dos índices de clorofila a (Eq 15) e de nutrientes (Eq 16,17,18 e 19) (PAULIC *et al*, 1996).

$$IET(CLA) = 16.8 + [14.4 \times \text{LN}(CLA)] \quad (15)$$

$$IET(NT) = 56 + [19.8 \times \text{LN}(NT)] \quad (16)$$

$$IET(NT2) = 10 \times [5.96 + 2.15 \times \text{LN}(NT + .0001)] \quad (17)$$

$$IET(PT) = [18.6 \times \text{LN}(PT \times 1000)] - 18.4 \quad (18)$$

$$IET(PT2) = 10 \times [2.36 \times \text{LN}(PT \times 1000) - 2.38] \quad (19)$$

Cálculo do IET (NUTR) em função do Nutriente Limitante:

$$NT/PT > 30 \quad IET(NUTR) = IET(PT2) \quad (20)$$

$$NT/PT < 10 \quad IET(NUTR) = IET(NT2) \quad (21)$$

$$10 < NT/PT < 30 \quad IET(NUTR) = (IET(PT) + IET(NT)) / 2 \quad (22)$$

$$IET_{total} = (IET(CLA) + IET(NUTR)) / 2 \quad (23)$$

Onde,

CLA: Clorofila Total $\mu\text{g/l}$

LN: Logaritmo Natural

NT: Nitrogênio Total mg/l

PT: Fósforo Total mg/l

A Tabela 7 apresenta as classificações de corpos hídricos, baseadas nos Padrões de Qualidade de Água da Flórida (PAULIC *et al*, 1996), de acordo com o IET da Flórida (IET total).

Tabela 7 - Classificação de IET total

IET total	Classificação
0 - 59	Boa
60 - 69	Aceitável
70 - 100	Ruím

Sigua *et al* (2006) estudaram o estado trófico dos lagos Lindsey, Spring e Bystere localizados na Flórida, EUA por meio da aplicação do IET da Flórida. Os IETs para os lagos Lindsey, Spring e Bystre foram 35, 30, e 46, respectivamente. Desta forma, as águas foram classificadas como “boas”.

g) Curva de Distribuição Probabilística de Estado Trófico

A curva de distribuição probabilística de estado trófico foi desenvolvida inicialmente para lagos e reservatórios temperados. Em 1990, em um Programa Regional do Centro Pan-Americano para Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS), foi adaptada para reservatórios tropicais (SALAS E MARTINO, 1991).

Para o desenvolvimento da curva, foi assumida a distribuição normal para o logaritmo dos dados de fósforo, sendo aplicada a seguinte equação:

$$Y = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\log X - \mu}{\sigma_s} \right)^2} \quad (24)$$

onde,

Y = log da distribuição normal de probabilidade;

σ_s = desvio padrão

μ = média;

x = parâmetro (log do fósforo total, P)

Através da aplicação da fórmula de Baye's e Blank (1980, *apud* SALAS E MARTINO, 1991), para cada uma das categorias logarítmicas da distribuição normal, equações 25 e 26, resultou a curva de distribuição probabilística (Figura 3).

$$P(CT_i / X) = \frac{P(CT_i) \cdot P(X / CT_i)}{\sum P(CT_i) \cdot P(X / CT_i)} \quad (25)$$

$$\frac{P(X / CT_i)}{\sum P(X / CT_i)} = \frac{Y(CT_i)}{\sum Y(CT_i)} \quad (26)$$

onde,

CT_i = categorias de estado trófico

X = logaritmo de PT

P (X / CT_i) = Y(CT_i) = distribuição normal de probabilidade { Y(HE) hipereutrófico,

Y(E) eutrófico, Y(M) mesotrófico, Y(O) oligotrófico e Y(UO) ultraoligotrófico;

$\sum Y(CT_i)$ = soma de todas as distribuições.

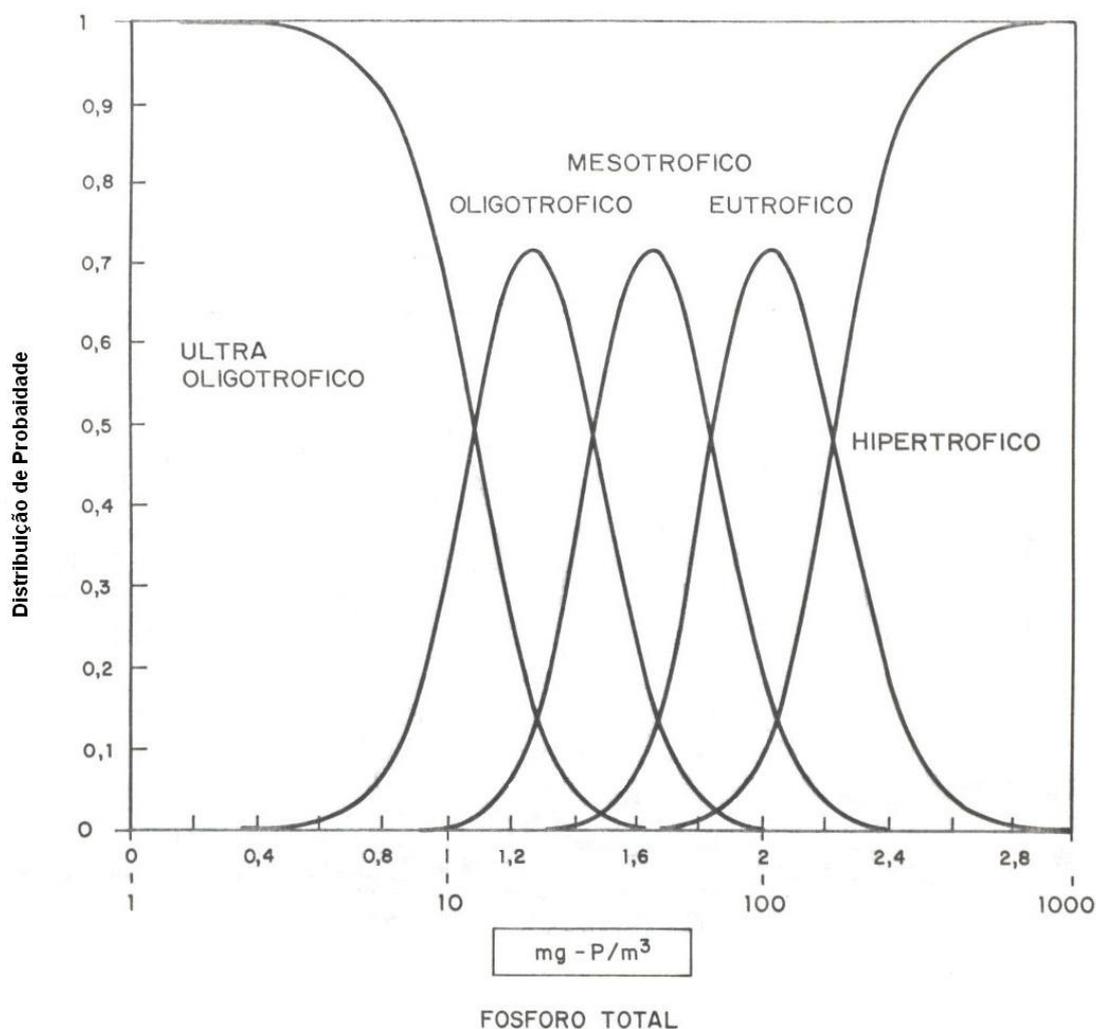


Figura 3 - Distribuição da probabilidade de nível trófico de lagos de clima tropical baseados em fósforo total (SALAS e MARTINO, 1991)

Starling (2003) fez a avaliação do estado trófico do lago Paranoá, localizado em Brasília. Os valores médios da concentração de fósforo total na água foram comparados com as curvas de probabilidade das classificações de estado trófico. A partir da análise destes dados de monitoramento, foi constatado que as concentrações de fósforo total enquadravam o Lago Paranoá como oligotrófico em toda a sua extensão, havendo apenas uma tendência a mesotrofia no Braço do Riacho Fundo. Os resultados do estudo indicaram a restauração da qualidade de água do lago Paranoá, que se apresentava altamente eutrofizado.

Santos e Florêncio (2001) fizeram a aplicação da curva probabilística, onde foram avaliadas as concentrações de 0,051 mg/L de P (média analítica para a

barragem de Duas Unas, localizada em Pernambuco) e 0,078 mg/L de P, observaram que para a menor concentração de fósforo, a probabilidade da barragem apresentar estado mesotrófico é de 62%, enquanto para o estado eutrófico é de 27%, para a maior concentração de fósforo, a probabilidade de estado eutrófico (64%) é predominante.

Hamester *et al.* (2005) utilizaram os critérios de classificação de distribuição de probabilidade propostos por Salas e Martino (1991). Analisaram uma cascata de reservatórios. Enquadraram de montante a jusante, em estados hipereutrófico (63,8%) e mesotrófico (31,5% e 32,3%).

Rodrigues *et al* (2007) estudaram o grau de trofia do Lago Paranoá, localizado em Brasília, por meio da Curva Probabilística de Salas e Martino (1991).As águas do lago foram classificadas como oligotróficas, com 85,5% de probabilidade.

h) OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004)

A OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*), em 1982, publicou um estudo sobre o monitoramento, avaliação e controle da eutrofização em ambientes hídricos nos países da Europa e da América do Norte, no qual estabeleceu limites para a classificação trófica nessas regiões.

A Tabela 8 apresenta as categorias tróficas de corpos d'água, de acordo com a transparência medida pelo disco de Secchi, as concentrações de fósforo total e clorofila-a no monitoramento realizado.

Tabela 8 - Categorias tróficas segundo a OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004)

Categorias Tróficas	PT (µg/L)	Cl a (µg/L)	Transparência (m)
Ultraoligotrófico	≤ 4	≤ 1	≥12
Oligotrófico	≤ 10	≤ 2,5	> 6
Mesotrófico	10 - 35	2,5 - 8	6 - 3
Eutrófico	35 - 100	8 - 25	3 - 1,5
Hipereutrófico	≥100	≥25	≤ 1,5

O lago San Pablo, localizado na área Andina do Equador, foi classificado como eutrófico, segundo a classificação da OECD (1982). Segundo os autores, a classificação como eutrófico resultou de despejos de esgoto e de outros

nutrientes provenientes da agricultura intensiva, além de erosão dos solos (GUNKEL, 2000).

2.5 Índice Morfoedáfico - MEI

A concentração “natural” de fósforo total em um corpo d’água lântico pode ser estimada, sem consideração da influência antropogênica, fazendo uso do índice morfoedáfico (MEI). O uso da relação fósforo-MEI permite uma simples estimativa quantitativa da percentagem de carga de fósforo afluente ao lago que pode ser controlada, tal que o seu nível trófico natural seja restaurado (SILVA e MENDONÇA, 2001).

O MEI é a razão entre o valor de sólidos dissolvidos totais e a profundidade média de um lago. O MEI pode ser calculado também com o uso de valores de alcalinidade e condutividade. Por exemplo, usando-se o parâmetro condutividade, temos a seguinte expressão:

$$MEI_{COND} = \text{condutividade} / \text{profundidade média} \quad (27)$$

onde a condutividade é dada em $\mu\text{S/m}$ e a profundidade média em metros (m)

Vighi e Chiaudani (1985 *apud* SILVA e MENDONÇA, 2001), analisando lagos localizados no hemisfério norte, estabeleceram equação de regressão envolvendo concentrações médias de fósforo total e índices morfoedáficos (MEI), na seguinte forma:

$$\text{Log [P]} = 0,75 + 0,27 \text{ LogMEI}_{COND} \quad (28)$$

$r = 0,71$ (coeficiente de correlação)

Onde a concentração média de fósforo total dentro do lago, P, é dada em $\mu\text{g/L}$.

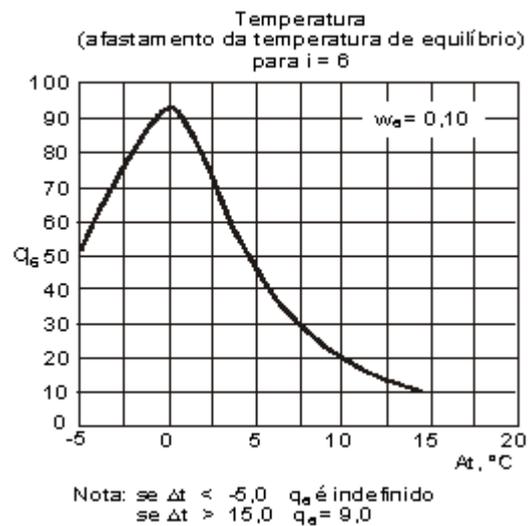
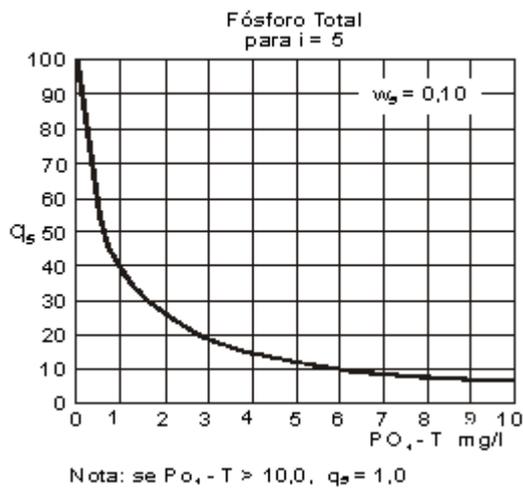
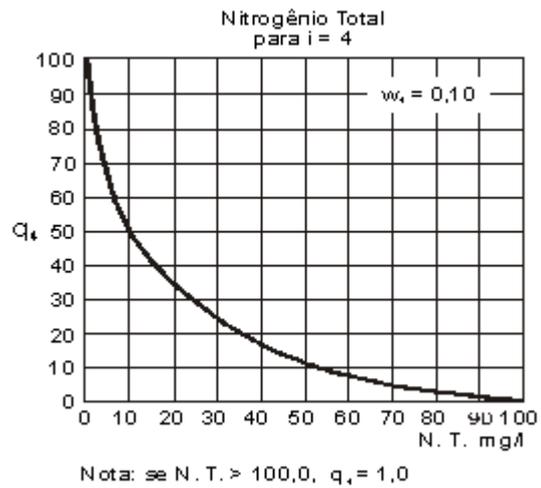
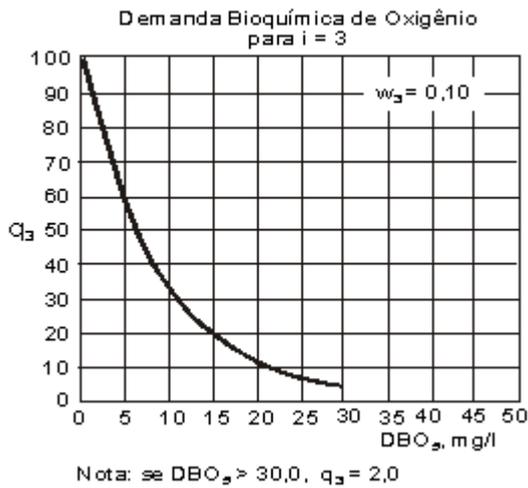
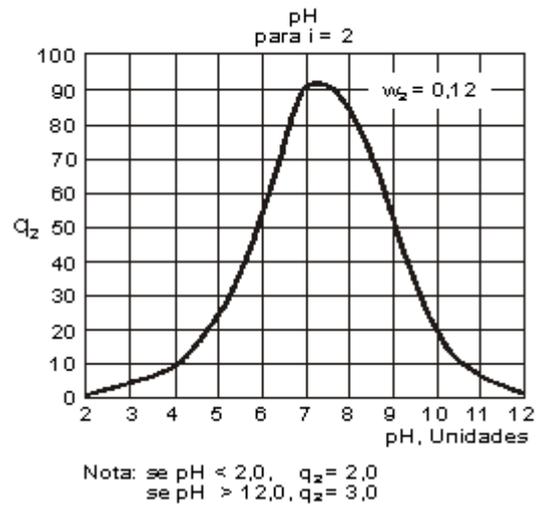
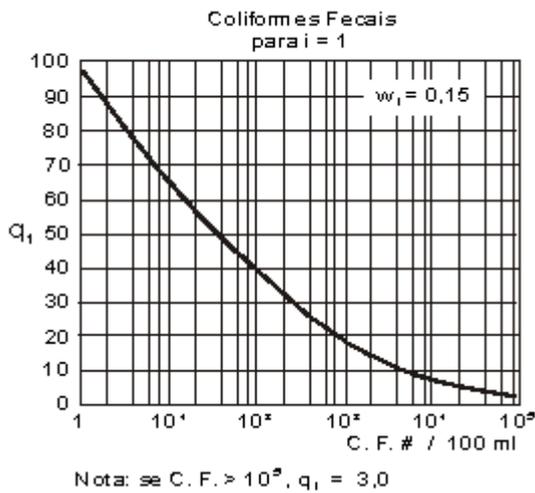
2.6 Índice de Qualidade de Água - IQA

O *Water Quality Index* (WQI), em português Índice de Qualidade de Água (IQA), foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos em 1970. A criação deste índice teve como objetivo classificar a qualidade de águas destinadas ao abastecimento público. É constituído por nove variáveis: oxigênio dissolvido (OD), coliforme fecal, pH, demanda

bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura, fósforo total, nitrato, turbidez e resíduo total.

A partir de 1975, a CETESB adaptou o WQI e desenvolveu um IQA com as variáveis: oxigênio dissolvido, temperatura, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

A Figura 4 abaixo mostra as Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.



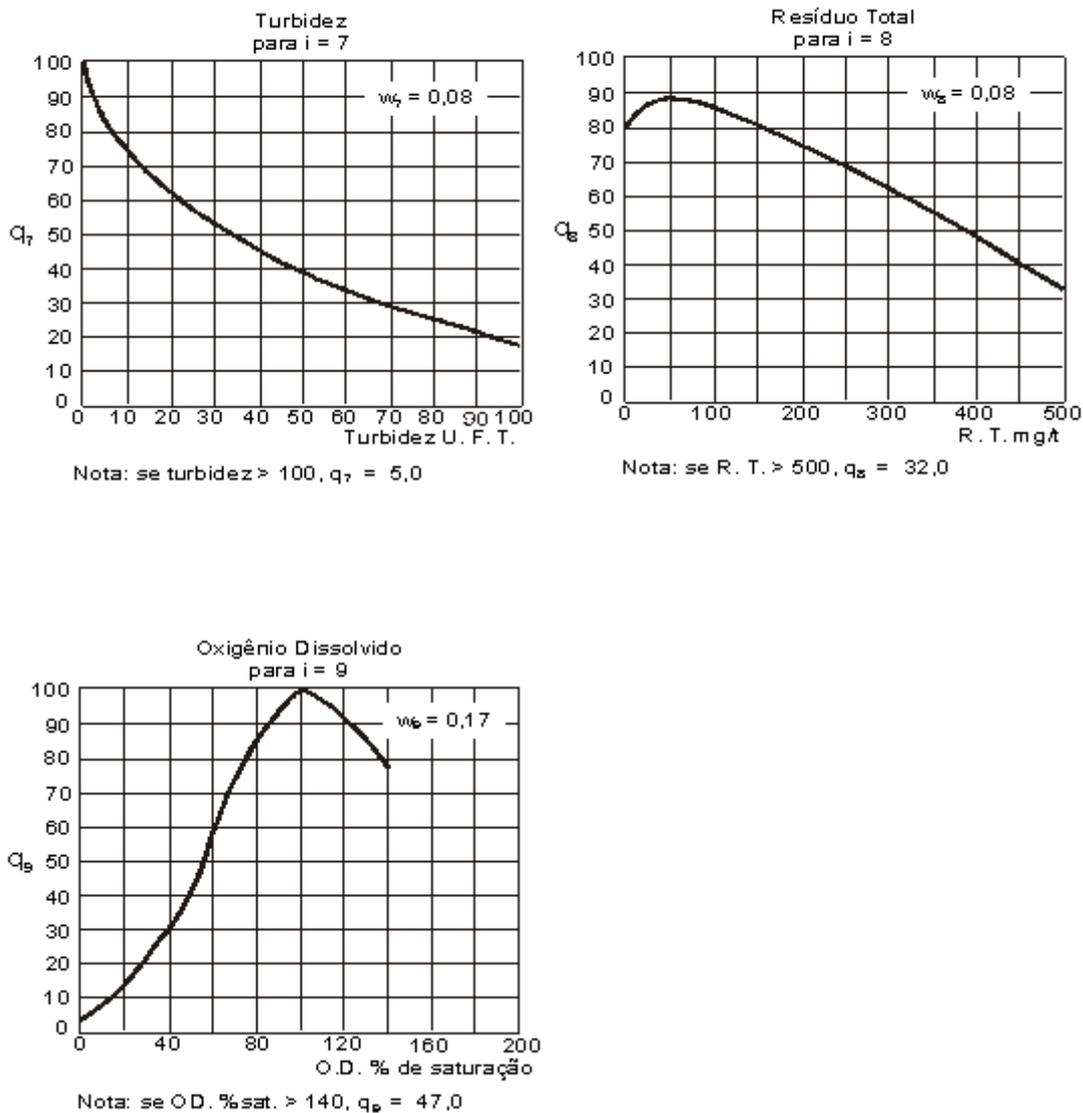


Figura 4 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas (coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido)

O IQA é determinado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total como esta apresentado na equação (29).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (29)$$

em que :

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (30)$$

em que: n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representado na Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação do Índice de Qualidade de Água

CATEGORIA	PONDERAÇÃO
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: Adaptado de CETESB (2010)

2.7 Remoção de nutrientes em sistemas de tratamentos de esgotos sanitários

A principal fonte de fósforo nas águas naturais é proveniente da descarga de efluentes sanitários, os quais possuem excretas (ricos em proteínas) e detergentes superfosfatados. As indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios contribuem com a presença excessiva de fósforo em seus efluentes. As águas drenadas em áreas agrícolas, devido à aplicação de fertilizantes no solo,

também contribuem para a presença de fósforo em corpos hídricos (GUALBERTO, 2009).

O grau de remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) no tratamento de esgotos depende do impacto que o efluente, tratado ou “in natura”, causa nos corpos receptores. O efluente tratado pode ser utilizado para a irrigação, não sendo necessária a retirada dos nutrientes presentes, os quais em dosagens adequadas são importantes para a cultura irrigada (VON SPERLING, 2005).

Os tipos de tratamento para a remoção de nutrientes são: lagoas de estabilização, sistemas de disposição controlada no solo, flotação, processos físico-químicos, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes (FONSECA, 2008).

Não há consenso se a remoção de N e P é considerada um tratamento em nível terciário. Quando sua remoção ocorre na etapa biológica do tratamento de esgotos, usualmente se diz que o tratamento é secundário, com remoção de N e/ou P. Quando há necessidade específica de uma etapa posterior, configura-se mais claramente o nível terciário de tratamento.

Os esgotos sanitários são predominantemente domésticos. A Tabela 10 apresenta a contribuição per capita de fósforo nos esgotos sanitários domésticos.

Tabela 10 - Fósforo nos esgotos sanitários

Parâmetro	Contribuição per capita
Fósforo	0,7 – 2,5 g/hab.dia
Fósforo orgânico	0,2 – 1,0 g/hab.dia
Fósforo inorgânico	0,5 – 1,5 g/hab.dia

A Tabela 11 apresenta a eficiência do tratamento primário e secundário na remoção de fósforo. Sua remoção pode ocorrer por processos físicos, químicos e biológicos. Nos casos de tratamento avançado, em que se deseja baixas concentrações (até abaixo de 1 mg/l) é possível complementar com tratamento físico final, como a filtração por carvão ativado ou osmose reversa (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

Tabela 11 - Eficiência na remoção do fósforo

Processo	Remoção Total de Fósforo (%)
Tratamento Convencional	
-Primário	10-20%
-Lodos Ativados	10-25%
-Filtros Biológicos	8-12%
Remoção Biológica de Fósforo	70-90%
Remoção Biológica de P e N	70-90%
Precipitação Química	70-90%
Processos Físicos	
-Filtração	20-25%
-Osmose Reversa	90-100%
-Adsorção por Carbono	10-30%

Tipos de remoção de fósforo segundo, von Sperling (2005):

a) Remoção de fósforo em lagoas

O principal mecanismo de remoção de fósforo em lagoas (principalmente de maturação, de polimento e alta taxa) é a precipitação de fosfatos em condições de elevado pH. O fosfato pode precipitar-se na forma de hidroxiapatita ou extruvita. Em lagoas rasas, a remoção de fósforo pode ser elevada, ao passo que em lagoas facultativas e aeradas, a eficiência de remoção é mais baixa.

b) Remoção de fósforo em sistemas de disposição controlada no solo

O fósforo, tanto na sua forma orgânica como na inorgânica, é pouco solúvel em água. O solo apresenta uma alta capacidade de retenção de fósforo, e a concentração de fósforo solúvel na água infiltrada é, portanto, baixa, normalmente na ordem de 0,01 a 0,10 mg/l. O fósforo é, desta forma, transportado principalmente pelo fluxo superficial.

O sistema de disposição de esgotos no solo, contendo culturas irrigadas, proporciona a remoção de P e N. A remoção dos nutrientes ocorre pelas

plantas, cujo desenvolvimento depende desses nutrientes. No entanto, a aplicação destes nutrientes deve se dar levando em consideração princípios da engenharia agrônômica e preocupações em termos de saúde pública. A salinidade dos esgotos e o excesso de nutrientes podem ser desfavoráveis para a cultura vegetal. Aspectos sanitários (associado a organismos patogênicos) dos trabalhadores rurais em contato com os esgotos, assim como da cultura irrigada, possivelmente disponibilizada para o mercado, têm de ser levados em consideração.

c) Remoção biológica de fósforo em sistemas de lodos ativados

A remoção biológica de fósforo pode ser alcançada através de zonas anaeróbias e aeróbias na linha de tratamento. A zona anaeróbia permite o desenvolvimento de uma grande população de organismos acumuladores de fósforo no sistema, ao quais absorvem quantidades de fósforo superiores aos requisitos metabólicos normais. Ao se remover o lodo biológico excedente, contendo também os organismos acumuladores de fósforo, ricos deste elemento, está ocorrendo também a remoção fósforo do sistema.

d) Remoção físico-química de fósforo

A remoção de fósforo por precipitação química compreende um processo de coagulação – floculação – decantação, que envolve a adição de sais metálicos de ferro (cloreto férrico) ou alumínio (sulfato de alumínio), ou ainda de cal (hidróxido de cálcio), à água para formar precipitados insolúveis que depois podem ser ou não removidos por um processo de decantação. No entanto, a aplicação desta técnica de recuperação de meios aquáticos naturais, além de dispendiosa, pode ter impactos significativos se não forem utilizadas as adequadas quantidades de coagulante, pois altera o pH da água e a remoção do precipitado pode ser custosa (RASÕES, 2008).

Os resultados obtidos por Rasões (2008) demonstraram ser possível a precipitação química de fósforo na Lagoa das Furnas através de coagulação-floculação-decantação. Ocorreram bons resultados com o uso de sais de alumínio e ferro. Todavia, a adição de carbonato de cálcio juntamente com sulfato de alumínio constituiu uma via alternativa de tratamento.

Machado (2007) realizou experimentos relacionados com a remoção de fósforo. O fósforo foi removido com eficiência média de 85% na unidade de flotação da ETE-Ipanema, o que possibilita melhorar a qualidade ambiental do corpo hídrico receptor destes efluentes tratados. Na estação, foi realizada a precipitação química do fósforo com a adição de sais de ferro, seguidos da separação das fases sólido/líquido por meio da aplicação de processos de flotação por ar dissolvido.

Gualberto (2009) utilizou efluentes de duas ETEs da SABESP, ETE Baueri, que possui lodo ativado convencional, e ETE Ribeirão Pires, que possui tratamento anaeróbio com reatores UASB. O coagulante utilizado foi o cloreto férrico que resultou na remoção de fósforo total com valores inferiores a 1 mg/L. As dosagens de coagulantes foram de 80 mg/l para a ETE Baueri e 60 mg/l para a ETE Ribeirão Pires. A produção de lodo quando se utiliza coagulantes é maior. Na ETE Baueri ocorreu um acréscimo de 113%, enquanto para a ETE Ribeirão Pires subiu 51%.

A utilização de biorremediação para retirada de nutrientes dos esgotos seria uma alternativa. Miao *et al* (2009) utilizou uma planta aquática, *Ipomoea aquática* para aumentar a eficiência de remoção de nutrientes. Em um lago eutrofico, o Chaohu, na China, a remoção de nitrogênio foi de 51 a 68% e a de fósforo de 54–71%. Cabe ressaltar que a utilização de biorremediação deve ser realizada com cuidado em corpos hídricos naturais, sendo mais recomendada em estações de tratamento de esgotos domésticos e industriais.

O gerenciamento de esgoto efluente deve levar em consideração primeiro o tratamento adequado, mas também a introdução de períodos com menor e maior descarga, relacionados com o ciclo hidrológico e a vazão.

O Lago Paranoá, localizado em Brasília, estava eutrofizado e a partir de 1993, com a implantação de várias estações de tratamento de esgotos esse quadro foi modificado. Rodrigues *et al.* (2007) utilizaram os métodos de IET modificado por Toledo (1984) e Salas e Martino (1991) para verificar a evolução do processo de despoluição do lago, o qual foi classificado como oligotrófico na maioria dos pontos monitorados.

Ruley e Rusch (2004) estudaram o City Park, um lago raso, subtropical, urbano e hipereutrófico localizado em Baton Rouge, Louisiana. No final de 1970, este lago artificial estava muito eutrofizado, ocorrendo freqüentes florações de algas e mortandades de peixes. A restauração do lago, em 1983, consistiu de dragagem de sedimentos carregados de nutrientes e de tratamento de esgotos. A gestão dos níveis de fósforo do sedimento combinado com redução das concentrações de fósforo bacia foi a opção viável para a saúde a longo prazo do lago.

Shigaki (2006) sugere práticas de manejo para controle de fontes difusas de fósforo na agricultura:

- Análise do solo e do dejetos para otimizar o manejo do fósforo.
- Tratamento químico do resíduo para diminuir a solubilidade do fósforo
- Usar o método apropriado para aplicação
- Planejar o período de adubação para evitar chuvas fortes eminentes
- Usar culturas de cobertura para proteger a superfície do solo da erosão
- Manejar zonas ripárias, caminhos de água com gramíneas e terras encharcadas para segurar o fósforo erodido e dispersar a enxurrada
- Manter os resíduos das culturas e reduzir o revolvimento do solo para minimizar a erosão e a enxurrada
- Manejar um pastejo sustentável para minimizar a erosão e a enxurrada
- Instalar e manter sistema de manipulação do dejetos
- Implementar um plano de manejo de nutrientes

O grau de eutrofização de um corpo hídrico não necessariamente se reduz logo após a eliminação de efluentes, pois os sedimentos localizados no fundo são depósitos de nutrientes. O material orgânico e inorgânico é transportado para o fundo dos ambientes aquáticos, por meio da sedimentação, o qual se torna um depósito de nutrientes, principalmente de fósforo. A partir de vários processos biológico, físicos, químicos e mecânicos, estes nutrientes podem ser liberados para a coluna d'água, agravando o processo de eutrofização (BORGES, 1998).

3 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Rio Bonito está localizado no município de Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo, Brasil. Pertence à bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, o qual abrange cerca de 1.660 km², com altitudes variando entre 0 e 1.300 m. Seu perímetro é de 291 Km. Limita-se a leste com a baía de Vitória, ao norte e à oeste com as bacias dos rios Reis Magos e Doce e ao sul com as bacias dos rios Jucu, Bubu e Formate-Marinho. A bacia compreende os municípios de Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá, Cariacica, Serra, Vitória e Viana (CSMJ, 1997, v. I).

O relevo apresenta uma variedade de feições geomorfológicas que inclui ambientes montanhosos, planícies, tabuleiros e colinas (CSMJ, 1997, v. II). A análise da vegetação fornece um panorama do bioma de Mata Atlântica, compreendendo floresta ombrófila densa montana, mata de restinga, manguezais, campo de várzea, vegetação ripícola, vegetação de campo e pastagem (CSMJ, 1997, v. III).

Na bacia do rio Santa Maria da Vitória predomina o clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (CSMJ, 1997, v. II). As condições edafoclimáticas da região são favoráveis ao desenvolvimento das culturas de café e banana que, ao lado da olericultura, compõem a base econômica da região em termos de agricultura (CSMJ, 1997, v. IV).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se revisão bibliográfica a respeito da relação entre lançamento de nutrientes e estados tróficos de corpos d'água lênticos, sendo levantados modelos existentes para classificação de estado de trofia, de acordo com aporte de nutrientes e valores de parâmetros de qualidade.

Resultados de monitoramento limnológico de qualidade de água realizado na área de influência da PCH Rio Bonito foram obtidos junto à empresa EDP, que gerencia o aproveitamento hidrelétrico. As campanhas do referido monitoramento foram realizadas nos dias 28 de outubro e 07 de dezembro de 2008, 28 de fevereiro, 04 de abril, 05 de junho e 07 de agosto de 2009. As descrições e as coordenadas geográficas em UTM SAD – 69 dos pontos de monitoramento estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Pontos de monitoramento da EDP

Ponto	Localização	Latitude	Longitude
1	Rio Santa Maria da Vitória, a montante do reservatório.	7.783.469	319.403
2	Interior do reservatório, próximo à barragem.	7.781.626	327.489
4	Rio Santa Maria da Vitória a jusante da PCH.	7.780.746	329.067
5	Interior do reservatório, na zona de maior dinâmica de escoamento.	7.782.899	326.973
6	Interior do reservatório, na zona de menor dinâmica de escoamento.	7.784.243	325.575

A Figura 5 mostra os pontos de monitoramento limnológico e de qualidade de água, na área de influência da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito no em UTM SAD – 69.

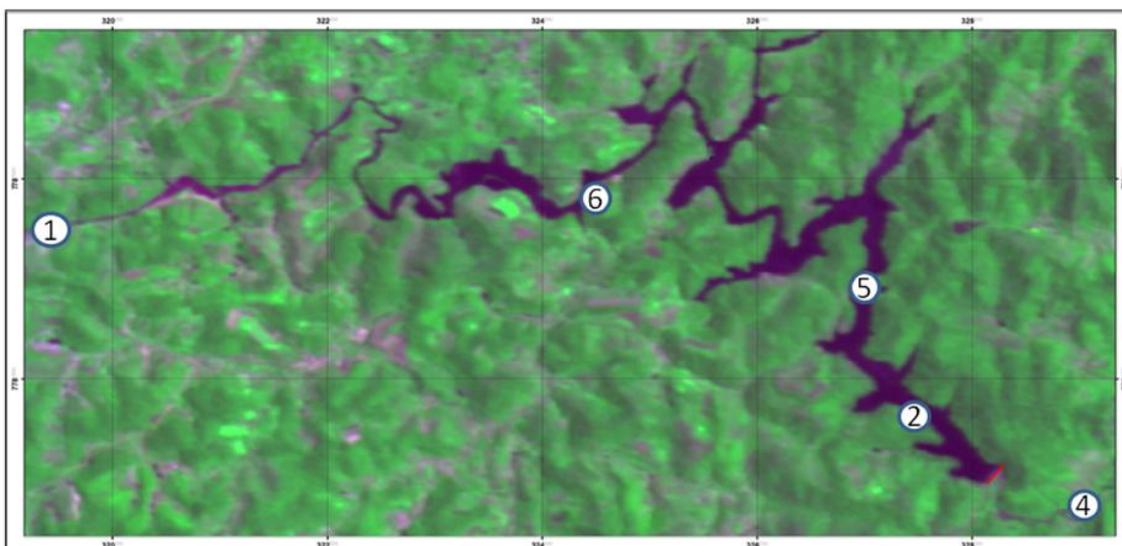




Figura 5 - Mapa com a localização dos pontos de monitoramento limnológico da PCH Rio Bonito

No presente estudo, foram considerados os pontos 1 e 4, a montante e a jusante da PCH Rio Bonito e os pontos 2, 5 e 6, situados no interior do reservatório da PCH.

Em todas as campanhas de monitoramento limnológico realizado pela empresa EDP (entre outubro de 2008 e agosto de 2009), as coletas seguiram as seguintes metodologias:

Em campo, com o auxílio de sonda multiparâmetro (YSI 556), foram obtidos os valores de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e devidamente preservadas, até a chegada no laboratório de limnologia situado na “Life – Projetos Limnológicos”, em Goiânia/GO para realização dos ensaios. Parte das amostras foi filtrada, no mesmo dia da coleta, em membranas Whatman GF/C. As amostras de água filtrada e não filtrada foram preservadas para posterior determinação das formas dissolvidas e totais de nitrogênio e fósforo.

Em laboratório foram realizadas as seguintes análises:

- Turbidez: Obtida através de um turbidímetro digital (Hach).
- Fósforo total: Determinado diretamente nas amostras não filtradas, sendo quantificado após a adição de reagente misto (molibdato de amônia, tartarato de antimônio e potássio e ácido ascórbico) e leitura em espectrofotômetro (882 nm);
- Clorofila a: Os pigmentos (clorofila-a e feopigmentos) foram quantificados através da extração com acetona (90%) e leitura em espectrofotômetro a 663

nm, aplicando-se correção para outros compostos dissolvidos e turbidez, resultante da leitura a 750 nm (Golterman et al., 1978 *apud* CURTI, 2009).

- Coliformes Termotolerantes: Realizado através do método dos tubos múltiplos.

Modelos matemáticos foram comparados e utilizados para análise das condições de eutrofização do reservatório. Concentrações de fósforo total e nitrogênio total foram comparadas para a definição do nutriente limitante. Foram aplicados o modelo de Salas e Martino (1991), a Curva de Distribuição Probabilística de Estado Trófico (SALAS e MARTINO, 1991), o Índice de Estado Trófico de Carlson (1977), o IET modificado por Lamparelli (2004) e o IET da Flórida, além da classificação trófica segundo a OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004).

O Índice Morfoedáfico foi utilizado para estimativa da concentração “natural” de fósforo total na represa de Rio Bonito, sem a influência antropogênica, para se ter idéia a respeito do controle necessário da carga de fósforo afluente ao reservatório.

Com finalidade, apenas, de observação de variação de parâmetros relacionados com eutrofização para diferentes anos hidrológicos, foram obtidos junto ao LABHIDRO/UFES dados de pluviometria, vazão e Índices de Qualidade de Água referentes ao período de dezembro de 2002 a dezembro de 2009, para pontos localizados no interior e nas proximidades do reservatório. A partir destas informações foi analisada a variação dos valores de IQA em função dos índices pluviométricos registrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Vazão e Pluviometria

A Tabela 13 e a Figura 6 mostram valores das precipitações pluviométricas e das vazões mensais registradas em 2008 e 2009 no ponto pluviométrico (*Datum* WGS84, Código 02040047 , 7.782.153,9 ; 317.223,9) situado próximo do reservatório e no posto fluviométrico (*Datum* WGS84, Código 57118080 , 7.782.147,8 ; 317.228,9) localizado no rio Santa Maria da Vitória, em seção localizada a montante do mesmo corpo d'água.

Tabela 13 - Vazões mensais afluentes ao Reservatório de Rio Bonito e precipitações pluviométricas mensais nos anos de 2008 a 2009.

Mês- Ano	Vazão (m³/s)	Chuva (mm)
jan-08	2,86	58,1
fev-08	6,15	145,2
mar-08	5,36	174,8
abr-08	4,42	55,1
mai-08	3,01	103,3
jun-08	2,11	9,4
jul-08	1,83	2,7
ago-08	1,41	9,4
set-08	1,48	47,1
out-08	1,86	58,1
nov-08	4,84	227,9
dez-08	8,23	244,5
jan-09	21,61	283,3
fev-09	5,10	15,5
mar-09	4,31	103,6
abr-09	5,84	117
mai-09	3,68	55
jun-09	3,95	77,7
jul-09	2,95	29,9
ago-09	2,35	17,2
set-09	2,10	21,8
out-09	8,46	383
nov-09	7,71	98,3
dez-09	9,10	269,7

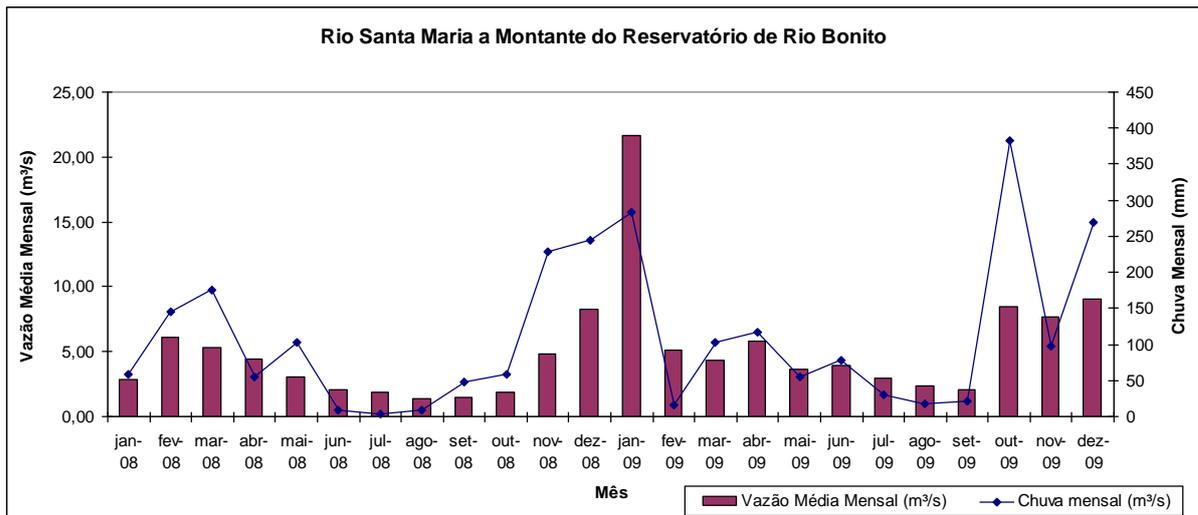


Figura 6 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas mensais nos anos de 2008 a 2009

Os totais de precipitações pluviométricas referentes aos anos de 2008 e 2009 foram 1136 mm e 1472 mm, respectivamente. A média mensal das precipitações pluviométricas para 2008 foi 94,63 mm, enquanto que para 2009 foi 122,67 mm.

Os meses apresentando maiores precipitações pluviométricas foram novembro e dezembro de 2008 e janeiro, outubro e dezembro de 2009: 227,9; 244,5; 283,3; 383 e 269,7mm, respectivamente. Os meses apresentando menores precipitações pluviométricas foram junho, julho e agosto de 2008, 9,4; 2,7 e 9,4 mm, respectivamente.

As vazões médias correspondentes aos anos de 2008 e 2009 corresponderam a 3,63 m³/s e 6,43 m³/s, respectivamente.

As maiores vazões registradas no rio Santa Maria da Vitória ocorreram em dezembro de 2008, janeiro, outubro e dezembro de 2009, 8,23; 21,61; 8,46 e 9,10 m³/s, respectivamente. As menores vazões foram registradas nos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2008, 1,83; 1,41; 1,48 e 1,86 m³/s, respectivamente.

As Tabelas 14 a 19 apresentam as vazões (m³/s) afluentes a Rio Bonito e as precipitações pluviométricas diárias (mm) nos 14 dias anteriores e nos dias das campanhas de monitoramento no Reservatório de Rio Bonito.

Tabela 14 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 14/10/2008 a 28/10/2008, dia da primeira coleta de amostras

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
14/10/08	2,24	2,8
15/10/08	1,87	0
16/10/08	1,64	0
17/10/08	1,69	0
18/10/08	1,89	0
19/10/08	1,64	0
20/10/08	3,43	13,9
21/10/08	3,23	14,1
22/10/08	2,87	3,7
23/10/08	2,57	1,2
24/10/08	2,54	0
25/10/08	2,25	0
26/10/08	1,75	0
27/10/08	1,62	0
28/10/08	1,42	0

Tabela 15 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 23/11/2008 a 07/12/2008, dia da segunda coleta de amostras

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
23/11/08	5,05	16,2
24/11/08	6,09	10,8
25/11/08	6,45	10,8
26/11/08	5,94	0,7
27/11/08	6,50	0
28/11/08	10,00	17,2
29/11/08	10,76	12,2
30/11/08	10,93	9
1/12/08	10,72	22,1
2/12/08	6,90	0
3/12/08	5,59	0
4/12/08	13,07	57,6
5/12/08	11,30	0
6/12/08	8,08	0,9
7/12/08	5,89	0

Tabela 16 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 14/02/2009 a 28/02/2009, dia da terceira coleta de amostras (continua)

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
14/2/09	6,34	0
15/2/09	5,45	0
16/2/09	4,99	0

Tabela 16 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 14/02/2009 a 28/02/2009, dia da terceira coleta de amostras (conclusão)

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
17/2/09	5,07	3,9
18/2/09	4,94	0
19/2/09	4,55	0,5
20/2/09	4,68	0
21/2/09	4,51	0
22/2/09	4,81	7,6
23/2/09	4,10	0
24/2/09	3,72	0
25/2/09	3,54	0
26/2/09	3,87	0
27/2/09	3,72	0
28/2/09	3,58	0

Tabela 17 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 21/03/2009 a 04/04/2009, dia da quarta coleta de amostras

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
21/3/09	2,75	0
22/3/09	3,13	0
23/3/09	3,16	5
24/3/09	6,54	3,5
25/3/09	8,64	41,4
26/3/09	9,21	9,1
27/3/09	5,99	0,4
28/3/09	8,06	11,7
29/3/09	10,33	3
30/3/09	7,34	6
31/3/09	7,11	0
1/4/09	6,09	4
2/4/09	7,69	13,7
3/4/09	6,72	0
4/4/09	5,40	0,4

Tabela 18 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 22/05/2009 a 05/06/2009, dia da quinta coleta de amostras (continua)

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
22/5/09	3,68	0,5
23/5/09	3,54	0
24/5/09	3,36	0
25/5/09	3,26	0
26/5/09	3,13	0
27/5/09	3,00	0

Tabela 18 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 22/05/2009 a 05/06/2009, dia da quinta coleta de amostras (conclusão)

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
28/5/09	3,00	0
29/5/09	2,93	0
30/5/09	2,90	0
31/5/09	3,00	0
1/6/09	3,01	0
2/6/09	3,07	0
3/6/09	5,16	15,6
4/6/09	3,93	0
5/6/09	3,52	0

Tabela 19 - Vazões (m³/s) e precipitações pluviométricas (mm) dos dias 24/07/2009 a 07/08/2009, dia da sexta coleta de amostras

Data	Vazão (m ³ /s)	Chuva (mm)
24/7/09	3,14	0
25/7/09	2,88	0
26/7/09	2,82	0
27/7/09	2,72	0
28/7/09	2,51	0
29/7/09	2,43	0
30/7/09	2,37	0
31/7/09	2,32	0
1/8/09	2,35	0,3
2/8/09	2,57	1,4
3/8/09	2,51	0
4/8/09	2,40	0
5/8/09	2,32	0
6/8/09	2,21	0
7/8/09	2,13	0

As Figuras 7 a 12 apresentam as vazões afluentes e as precipitações pluviométricas diárias em períodos próximos aos dias das coletas das campanhas de monitoramento no Reservatório de Rio Bonito.

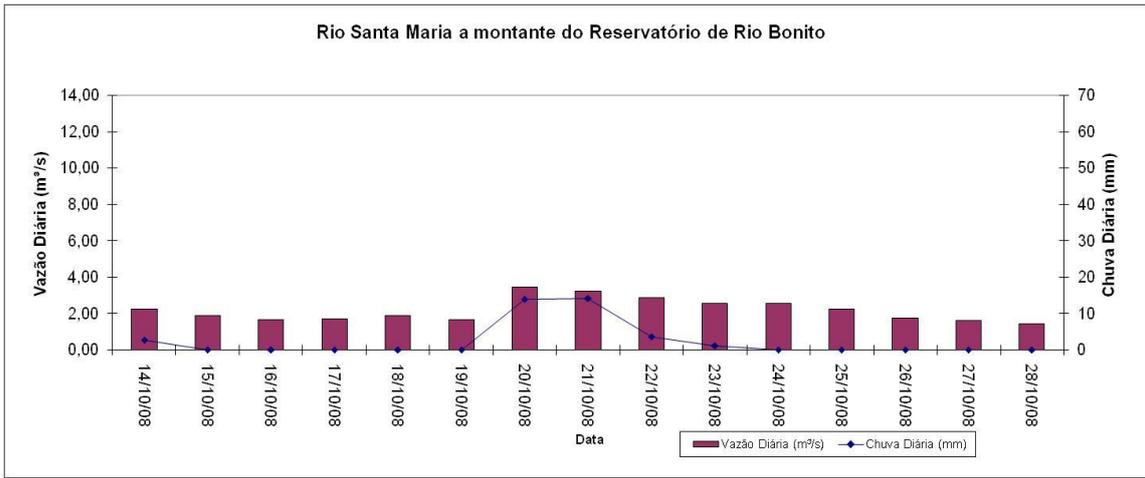


Figura 7 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (14/10/2008 a 28/08/2008)

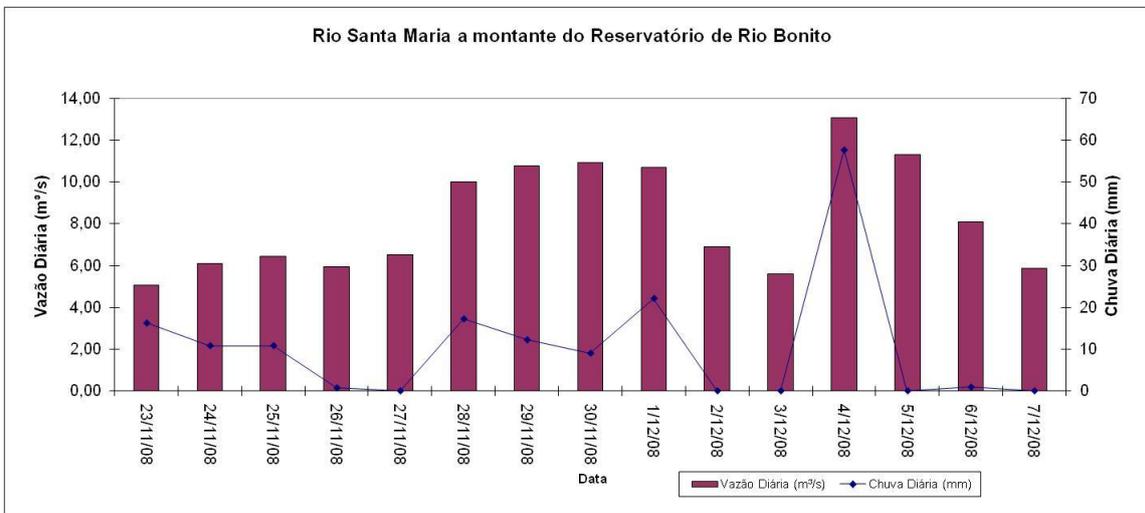


Figura 8 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (23/11/2008 a 7/12/2008)

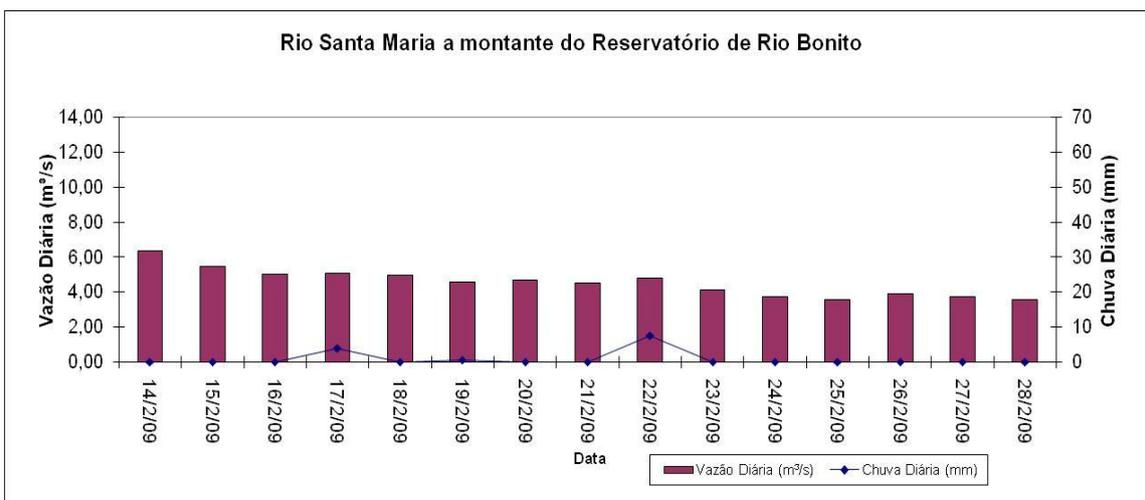


Figura 9 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (14/02/2009 a 28/02/2009)

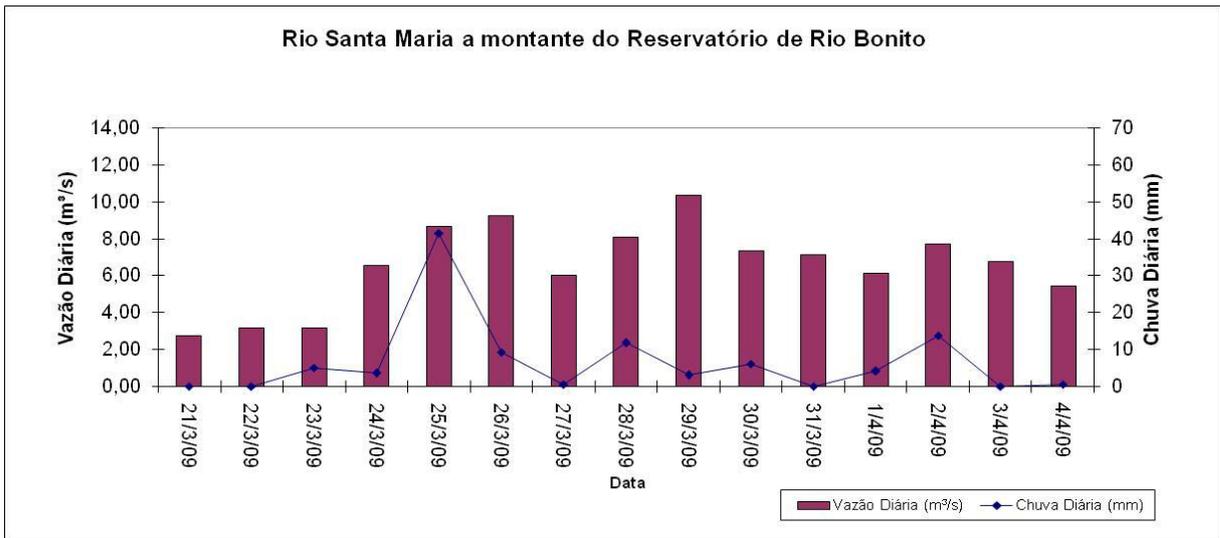


Figura 10 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (21/03/2009 a 4/04/2009)



Figura 11 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (22/05/2009 a 5/06/2009)

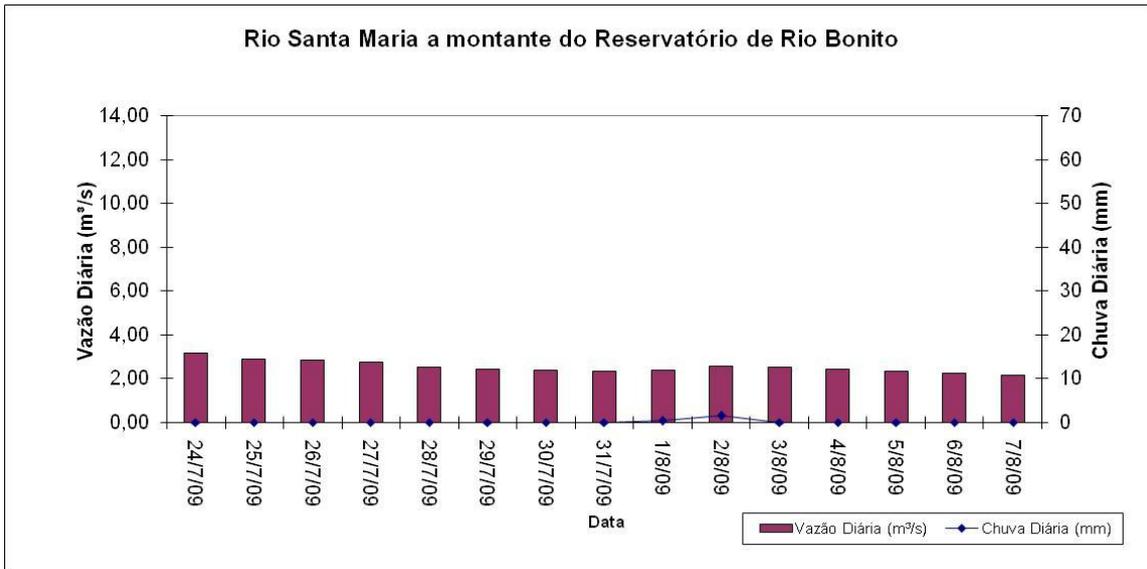


Figura 12 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas diárias (24/07/2009 a 07/08/2009)

A Tabela 20 apresenta as médias de precipitações para 1, 3, 7 e 15 dias incluindo as datas das campanhas.

Tabela 20 - Precipitações pluviométricas acumuladas nos dias das campanhas, em três dias, em sete dias e em quinze dias

Data da Campanha	Chuva no dia da Campanha	Chuva 3 dias	Chuva 7 dias	Chuva 15 dias
28/10/08	0,00	0,00	4,90	35,70
7/12/08	0,00	0,9	80,60	157,50
28/2/09	0,00	0,00	7,60	12,00
4/4/09	0,40	14,10	27,10	98,20
5/6/09	0,00	15,60	15,60	16,10
7/8/09	0,00	0,00	1,70	1,70

A maior precipitação no dia da campanha ocorreu em 4/4/09: 0,4 mm. As maiores precipitações acumuladas em 3 dias corresponderam às campanhas de 4/4/09 e 5/6/09: 14,10 mm e 15,60 mm, respectivamente. As maiores precipitações acumuladas em 7 dias e 15 dias corresponderam às campanhas de 7/12/09: 80,60 mm e 157,50 mm.

A Tabela 21 apresenta as vazões para 1, 3, 7 e 15 dias, incluindo as médias referentes às datas das campanhas.

Tabela 21 - Vazões médias nos dias das campanhas, em três dias, em sete dias e em quinze dias

Data da Campanha	Vazão no dia da Campanha	Vazões Médias 3 dias	Vazões Médias 7 dias	Vazões Médias 15 dias
28/10/08	1,42	1,60	2,15	2,18
7/12/08	5,89	8,42	8,79	8,22
28/2/09	3,58	3,72	3,90	4,52
4/4/09	5,40	6,60	7,24	6,54
5/6/09	3,52	4,20	3,51	3,36
7/8/09	2,13	2,22	2,35	2,51

As maiores vazões médias no dia de campanha correspondem a 7/12/08 e 4/4/09: 5,89 e 5,40 m³/s, respectivamente. As maiores vazões médias de 3 dias correspondem às campanhas de 7/12/08 e 4/4/09: 8,42 e 6,60 m³/s, respectivamente. As maiores vazões médias de 7 dias também correspondem às campanhas de 7/12/08 e 4/4/09: 8,79 e 7,24 m³/s, respectivamente. Quanto às vazões de 15 dias, as maiores vazões correspondem às campanhas de 28/10/08 e 7/12/08: 32,66 e 8,22 m³/s.

A série histórica de precipitações pluviométricas para a estação mais próxima do reservatório Suíça abrange o período de 1960 a 2009 está na Tabela 22 e em Anexos I.

Tabela 22 – Totais mensais e anuais de precipitações pluviométricas na estação pluviométrica da PCH Suíça (continua)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
1960	44,90	16,40	99,60	30,60	25,00	56,00	136,00	76,00	34,00	116,00	208,00	80,00	922,50
1961	399,00	177,00	74,00	117,00	127,00	246,00	67,00	22,00	10,00	131,00	68,00	187,00	1625,00
1962	313,00	57,00	180,00	39,00	101,00	37,00	67,00	10,00	44,00	177,00	117,00	378,00	1520,00
1963	7,00	228,00	41,00	17,00	28,00	109,00	77,00	59,00	3,00	105,00	129,00	122,00	925,00
1964	362,00	178,00	263,00	228,00	34,00	28,00	114,00	141,00	107,00	221,00	108,00	265,00	2049,00
1965	162,00	648,00	227,00	88,00	59,00	59,00	109,00	22,00	55,00	133,00	287,00	27,00	1876,00
1966	111,00	27,00	18,00	58,00	125,00	25,00	173,00	41,00	120,40	141,80	249,00	178,00	1267,20
1967	72,00	123,80	212,00	71,80	207,60	59,60	30,40	37,20	35,80	68,00	197,20	262,40	1377,80
1968	201,00	236,60	104,60	78,50	56,20	58,60	89,20	86,20	92,20	83,80	97,70	133,10	1317,70
1969	110,30	116,90	6,60	64,90	49,40	267,50	46,50	10,00	33,40	174,00	123,50	272,90	1275,90
1970	391,20	78,20	73,80	96,30	19,20	23,70	265,60	102,20	59,40	181,40	346,60	118,60	1756,20
1971	29,00	74,00	40,40	39,80	13,80	124,20	81,90	109,40	132,30	229,90	441,20	169,60	1485,50
1972	179,80	247,80	121,20	160,90	72,20	29,60	68,60	61,30	150,20	111,90	167,80	215,30	1586,60
1973	213,50	134,10	308,80	98,80	39,60	12,60	29,40	23,70	47,10	134,70	110,90	306,80	1460,00
1974	382,30	94,10	240,60	48,30	79,40	20,60	29,40	8,20	61,10	267,10	123,90	201,30	1556,30
1975	351,60	207,10	144,20	55,30	88,70	121,50	20,30	35,30	93,50	133,60	147,20	134,10	1532,40
1976	33,80	47,40	168,40	16,80	57,00	4,00	113,80	23,50	160,90	98,30	254,40	213,20	1191,50
1977	135,80	59,10	23,10	86,50	100,90	47,60	33,80	2,10	61,10	238,60	267,20	191,30	1247,10
1978	84,30	173,80	106,90	105,90	63,20	28,90	187,50	52,80	141,60	123,70	104,70	188,90	1362,20
1979	469,30	229,90	238,60	63,40	20,50	9,30	50,30	20,90	34,50	75,10	248,70	238,30	1698,80
1980	261,20	189,50	58,90	309,90	82,50	43,10	62,10	39,70	15,60	78,00	138,40	277,70	1556,60
1981	149,30	190,40	207,80	89,70	167,50	34,80	17,30	86,40	11,30	234,30	279,30	119,40	1587,50
1982	227,00	70,70	140,50	131,80	81,80	14,60	42,10	182,40	56,40	51,60	39,20	133,30	1171,40
1983	241,20	148,90	55,50	94,80	55,40	27,90	47,50	12,30	342,80	190,80	334,10	190,90	1742,10
1984	141,10	112,50	134,70	95,10	12,20	36,00	16,10	109,90	83,40	190,20	164,30	224,60	1320,10
1985	367,90	59,00	147,30	104,50	54,40	13,30	67,60	56,40	93,80	118,00	152,10	200,30	1434,60
1986	144,70	21,20	51,40	29,30	41,20	54,30	25,00	73,80	60,40	29,50	70,40	169,60	770,80
1987	135,80	60,60	238,30	106,90	69,10	39,90	29,20	19,20	39,90	63,00	303,30	184,40	1289,60
1988	135,20	39,20	129,00	39,80	62,20	24,40	31,20	44,00	88,80	147,80	119,40	132,80	993,80
1989	61,70	75,10	309,50	79,00	93,60	45,50	27,00	133,20	29,30	55,80	307,30	203,10	1420,10

Tabela 22 – Totais mensais e anuais de precipitações pluviométricas na estação pluviométrica da PCH Suíça (conclusão)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1990	22,10	89,70	31,80	121,80	23,40	16,10	28,40	83,00	62,00	178,20	155,50	211,50	1023,50
1991	218,70	253,50	198,70	17,10	111,90	51,20	227,30	171,10	76,90	32,70	110,90	106,50	1576,50
1992	191,10	99,00	151,40	91,10	35,20	67,20	180,40	55,00	95,50	178,70	378,80	127,10	1650,50
1993	148,20	37,90	76,00	139,50	86,50	41,70	20,10	34,70	30,70	42,10	103,40	206,50	967,30
1994	356,70	34,50	347,20	123,90	77,00	17,20	38,20	17,60	23,80	65,60	98,20	110,70	1310,60
1995	116,30	10,20	159,10	114,80	29,00	16,80	152,40	65,70	76,20	175,80	227,80	277,30	1421,40
1996	40,50	97,60	88,50	96,30	23,20	87,30	20,50	39,20	183,00	178,90	541,50	192,80	1589,30
1997	180,40	159,90	342,30	71,50	44,40	15,10	5,00	18,10	46,30	133,60	320,50	258,30	1595,40
1998	159,30	84,10	116,60	34,00	38,10	19,40	6,90	39,10	24,30	161,00	209,50	142,70	1035,00
1999	88,50	56,10	284,10	73,70	16,90	79,60	57,10	51,90	64,10	109,50	258,20	178,20	1317,90
2000	221,10	99,20	135,20	154,30	41,30	52,70	33,40	39,30	72,80	17,90	339,10	418,20	1624,50
2001	91,30	35,60	57,40	40,40	58,40	28,40	49,80	111,20	141,40	163,80	407,90	207,60	1393,20
2002	115,20	103,20	48,20	64,60	51,40	33,40	49,40	122,10	149,60	44,70	106,40	193,60	1081,80
2003	179,50	28,40	37,30	92,70	34,40	0,10	72,20	33,20	31,00	29,20	46,40	224,00	808,40
2004	299,20	142,40	257,80	146,50	21,30	76,10	52,50	45,70	26,10	119,00	133,60	295,60	1615,80
2005	219,40	385,60	313,60	74,80	292,40	240,80	93,20	19,60	69,50	24,50	288,50	318,90	2340,80
2006	134,80	28,80	389,70	78,00	3,00	73,60	47,50	57,60	63,30	169,70	345,30	236,40	1627,70
2007	231,20	113,90	53,30	64,30	46,10	16,80	4,00	58,60	120,60	34,80	174,70	172,10	1090,40
2008	107,80	196,50	191,30	33,90	35,60	33,60	14,40	18,90	33,10	129,60	455,30	290,80	1540,80
2009	267,40	30,50	150,90	194,70	20,90	70,20	33,70	51,30	50,10	297,00	271,00	210,30	1648,00
Média	182,57	122,42	153,70	89,56	67,64	53,95	66,83	54,77	75,58	125,66	209,79	198,65	1377,57

A série histórica de chuvas de 1960 a 2009 mostra que o semestre com maior precipitação pluviométrica abrange os meses de outubro a março. O semestre com menor precipitação abrange os meses de abril a setembro.

A precipitação média para o período de 1960 a 2009, para a PCH Suíça correspondeu a 117,8 mm, enquanto que os valores das precipitações médias para 2008 e 2009 corresponderam a 94,6 mm e 122,6 mm respectivamente. Desta forma, a média de precipitações para os dois anos nas quais foram feitas as campanhas de monitoramento correspondem a 108,6 mm, pouco inferior à média de longo prazo.

5.2 Variáveis Limnológicas

5.2.1 Pontos Monitorados no Reservatório de Rio Bonito

A Tabela 23 e a Figura 13 apresentam os valores de fósforo total observados nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 23- Valores de fósforo total observados nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Fósforo Total (mg/L)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	0,020	0,025	0,056	0,034
dez/08	0,030	0,063	0,067	0,053
fev/09	0,009	0,009	0,009	0,009
abr/09	0,017	0,009	0,023	0,016
jun/09	0,010	0,013	0,012	0,012
ago/09	0,010	0,001	0,004	0,005
Mínimo	0,009	0,001	0,004	
Média	0,016	0,020	0,028	
Máximo	0,030	0,063	0,067	

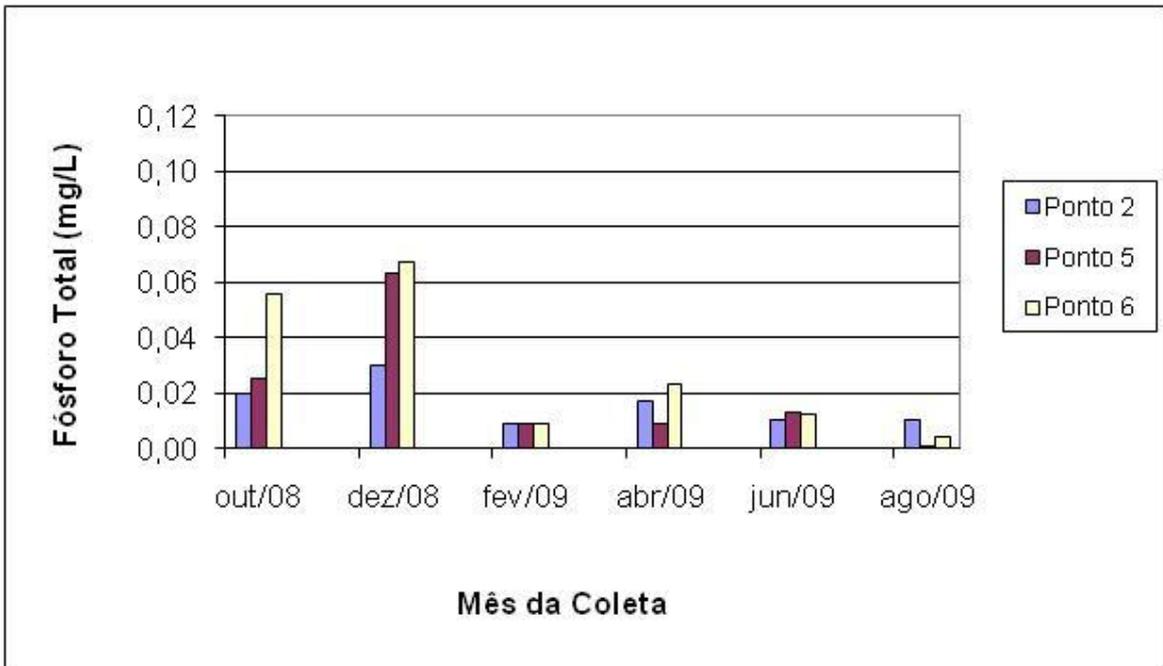


Figura 13 - Concentrações de fósforo total nos pontos situados no interior do reservatório

No reservatório de Rio Bonito, considerando os três pontos monitorados, a média de fósforo total foi 0,021 mg/L, a mínima 0,001 mg/L, em agosto de 2009, no Ponto 5, e a máxima 0,067 mg/L, no Ponto 6, em dezembro de 2008.

Dentre as seis campanhas, as que apresentaram as maiores concentrações foram as realizadas em outubro de 2008 e dezembro de 2008, nas quais as concentrações médias foram 0,034 mg/L e 0,053 mg/L. Nas outras quatro campanhas, as concentrações médias foram 0,009 mg/L (fevereiro de 2009), 0,016 mg/L (abril de 2009), 0,012 mg/L (junho de 2009) e 0,005 mg/L (agosto de 2009), respectivamente 83,54%, 69,45%, 78,18% e 90,65% inferiores à maior concentração média, que ocorreu em dezembro de 2008 (0,053 mg/L).

Os valores médios de concentrações no interior do reservatório, para as duas primeiras campanhas, foram superiores a 0,030 mg/L, limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA 357/05 para as águas doces de Classe 2 em ambientes lênticos.

A Tabela 24 e a Figura 14 mostram as concentrações de nitrogênio total observadas nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 24 - Valores de nitrogênio total nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Nitrogênio Total (mg/L)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	0,140	0,140	0,280	0,187
dez/08	1,353	0,700	1,870	1,308
fev/09	0,860	0,860	0,660	0,793
abr/09	0,729	0,728	0,589	0,682
jun/09	0,929	0,788	0,549	0,755
ago/09	6,073	3,695	2,705	4,158
Mínimo	0,140	0,140	0,280	
Média	1,681	1,152	1,109	
Máximo	6,073	3,695	2,705	

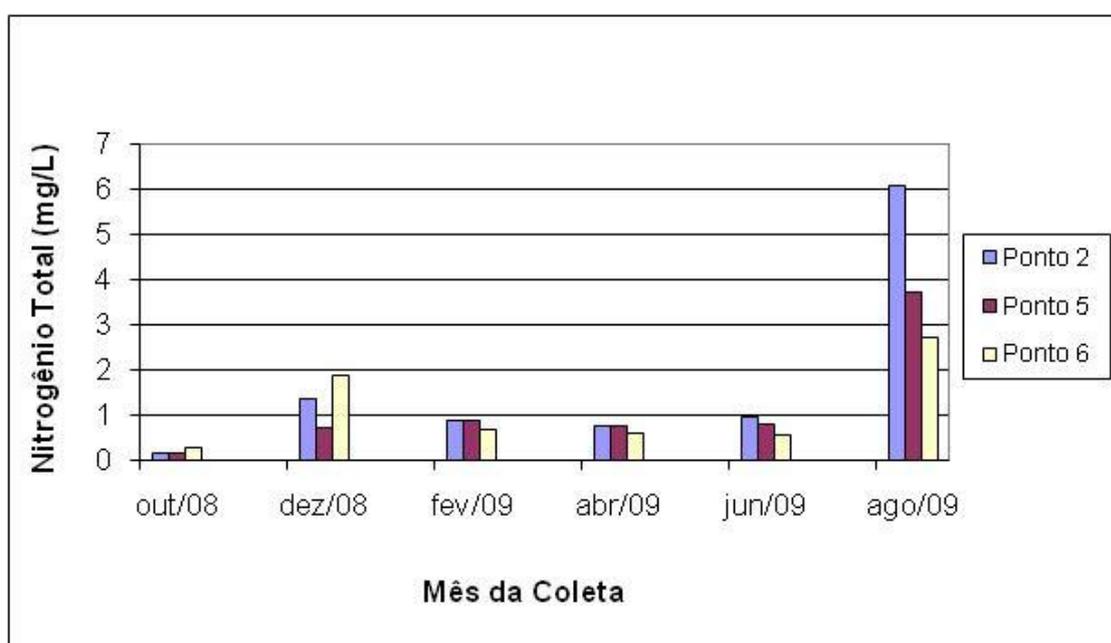


Figura 14 - Concentrações de nitrogênio total nos pontos situados no interior do reservatório

O menor valor de nitrogênio total registrado no interior do reservatório de Rio Bonito foi 0,140 mg/L, em outubro de 2008, nos Pontos 2 e 5. O valor máximo foi 6,073 mg/L, em agosto de 2009, no Ponto 2 e o valor médio, considerando os três pontos, foi 1,314 mg/L.

A campanha apresentando maior concentração média de nitrogênio total foi a realizada em agosto de 2009, 4,158 mg/L. A campanha de dezembro de 2008 apresentou a segunda maior concentração média 1,308 mg/L, 68,55% inferior que à correspondente à campanha apresentando maior média, realizada em agosto de 2009.

Nas outras campanhas as médias foram: 95,51% (0,187 mg/L, outubro de 2008), 80,92% (0,793 mg/L, fevereiro de 2009), 83,60% (0,682 mg/L, abril de 2009), 81,83% (0,755 mg/L, junho de 2008) menores que a concentração correspondente a agosto de 2009 (4,158 mg/L).

A Resolução CONAMA 357/05 considera para as águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, que o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. Assim, os valores médios de nitrogênio total nos meses de dezembro de 2008 e agosto de 2009 ultrapassariam o limite máximo da resolução para ambientes lênticos, se esse nutriente fosse o limitante para eutrofização.

As concentrações de clorofila *a* na superfície da coluna d'água do reservatório de Rio Bonito são apresentadas na Tabela 25 e na Figura 15.

Tabela 25 - Valores de clorofila *a* na superfície da coluna d'água nos pontos no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Clorofila <i>a</i> (µg/L)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	1,09	2,46	3,28	2,28
dez/08	0,81	3,82	2,73	2,45
fev/09	4,88	3,77	4,79	4,48
abr/09	5,14	5,71	14,00	8,28
jun/09	4,00	4,10	1,32	3,14
ago/09	0,55	2,46	0,01	1,01
Mínimo	0,55	2,46	0,01	
Média	2,75	3,72	4,36	
Máximo	5,14	5,71	14,00	

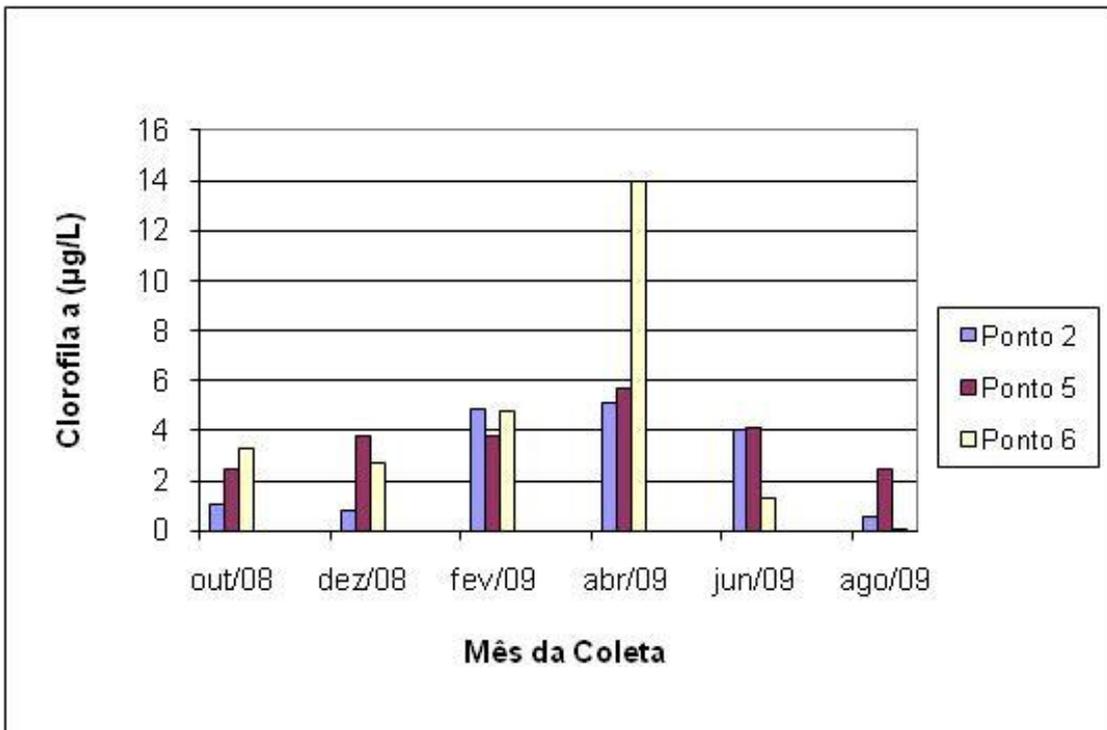


Figura 15 - Concentrações de clorofila a na superfície da coluna d'água, nos pontos no interior do reservatório de Rio Bonito

No interior do reservatório de Rio Bonito o menor valor de clorofila a foi 0,01 µg/L, em agosto de 2009, no Ponto 6, o maior em abril de 2009, no Ponto 6, 14,0 µg/L e o valor médio, para todos os pontos, foi 3,61 µg/L.

A campanha realizada em abril de 2009 apresentou maior concentração média de clorofila a na superfície do reservatório (8,28 µg/L). Nas outras campanhas as médias foram 2,28 µg/L (outubro de 2008), 2,45 µg/L (dezembro de 2008), 4,48 µg/L (fevereiro de 2009), 3,14 µg/L (junho de 2009) e 1,01 µg/L (agosto de 2009), respectivamente 72,51%, 70,38%, 45,91%, 62,09% e 87,85% inferiores à concentração correspondente a abril de 2009.

O valor limite preconizado pela resolução CONAMA 357/05 para a concentração de clorofila a é 30 µg/L para corpos d'água Classe 2. Desta forma, as concentrações registradas nos pontos situados no interior do reservatório ficaram abaixo deste limite.

Os valores do fósforo são uma medida do potencial de eutrofização (RODRIGUES *et. al.*2007), pois este nutriente é utilizado pelas algas para sua multiplicação. Assim, após um aumento de fósforo total, espera-se um aumento

de algas, o qual é medido pela clorofila *a* presente na água. O mês de abril de 2009, que apresentou maior concentração de clorofila *a*, procedeu meses de monitoramento nos quais ocorreram altas concentrações de fósforo total, outubro e dezembro de 2008.

Rubim (2006) fez três amostragens no Reservatório de Rio Bonito nos meses de outubro de 2004, janeiro e abril de 2005. As concentrações de clorofila *a* em geral foram baixas, ocorrendo valores não detectáveis em algumas amostragens e o maior valor de clorofila *a* foi 10,69 µg/L, em outubro de 2004. O mês de abril de 2005 sucedeu elevada pluviosidade, sendo aquele em que foi constatada menor concentração de clorofila *a* de 0,00 a 0,27 µg/L.

A Tabela 26 e a Figura 16 apresentam as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 26 - Valores de oxigênio dissolvido no interior do reservatório de Rio Bonito (continua)

Mês/Ano	Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	8,90	8,90	8,70	8,83
dez/08	6,20	7,70	7,70	7,20
fev/09	8,90	9,62	9,69	9,40
abr/09	5,40	6,40	8,10	6,63
jun/09	6,20	4,80	6,50	5,83
ago/09	8,50	8,50	8,20	8,40
Mínimo	5,40	4,80	6,50	
Média	7,35	7,65	8,15	
Máximo	8,90	9,62	9,69	

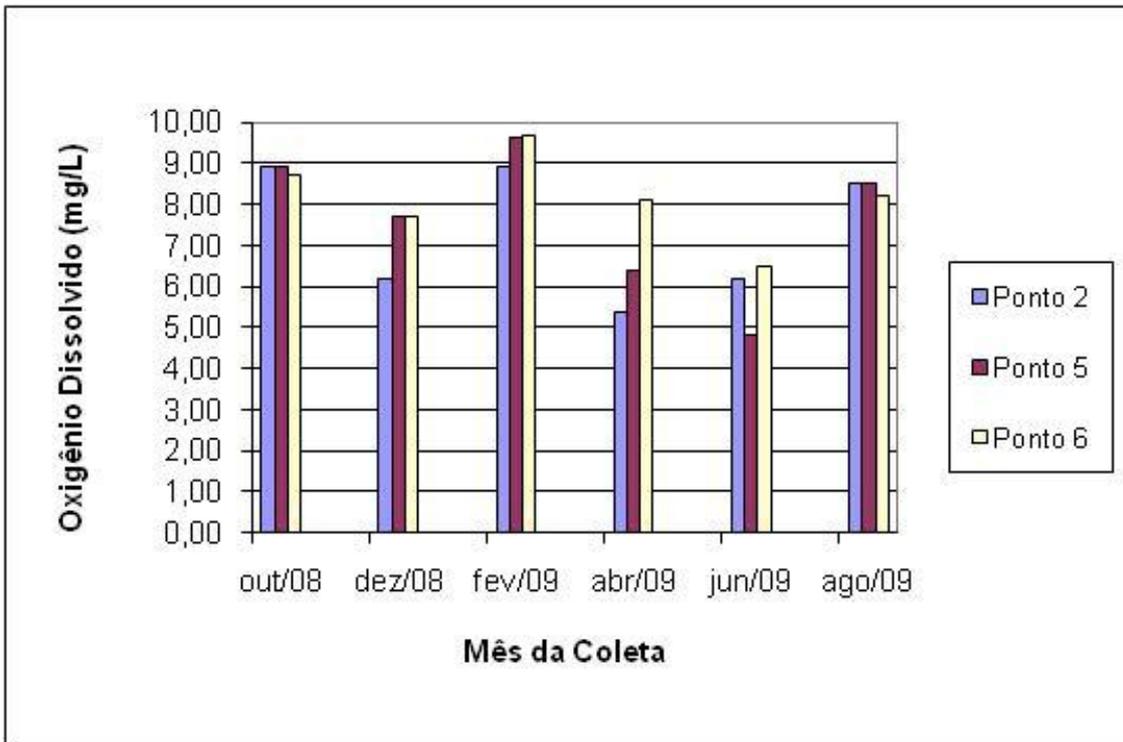


Figura 16 - Concentrações de oxigênio dissolvido no interior do reservatório de Rio Bonito

Os valores de concentração de oxigênio dissolvido foram superiores aos preconizados pela Resolução CONAMA nº. 357, de março de 2005, para águas da classe 2 (5,0 mg/L) (Figura 5.2.4). Apenas o ponto 5, em junho de 2009, apresentou concentração abaixo apenas 4% inferior do limite mínimo preconizado pela Resolução.

O maior valor de oxigênio dissolvido foi 9,69 mg/L no Ponto 6 em fevereiro de 2009, sendo a média para os pontos monitorados dentro do reservatório foi 6,87 mg/L. As médias por campanha variaram entre 5,84 mg/L em junho de 2009 a 9,40 mg/L em fevereiro de 2009.

Os valores mais elevados, acima de 8,5 mg/L, de oxigênio dissolvido podem estar associados a uma maior taxa fotossintética, devido aumento na densidade da comunidade fitoplanctônica nos pontos no interior do reservatório.

Os valores de transparências medidos nos pontos de monitoramento localizados no interior do reservatório de Rio Bonito são apresentados na Tabela 27 e na Figura 17.

Tabela 27 - Valores de transparência nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Transparência (m)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	0,60	0,70	0,60	0,63
dez/08	0,50	0,40	0,50	0,47
fev/09	0,90	1,10	0,90	0,97
abr/09	0,40	1,00	1,50	0,97
jun/09	2,10	2,50	1,00	1,87
ago/09	-	2,20	1,10	1,65
Mínimo	0,40	0,40	0,50	
Média	0,90	1,32	0,93	
Máximo	2,10	2,50	1,50	

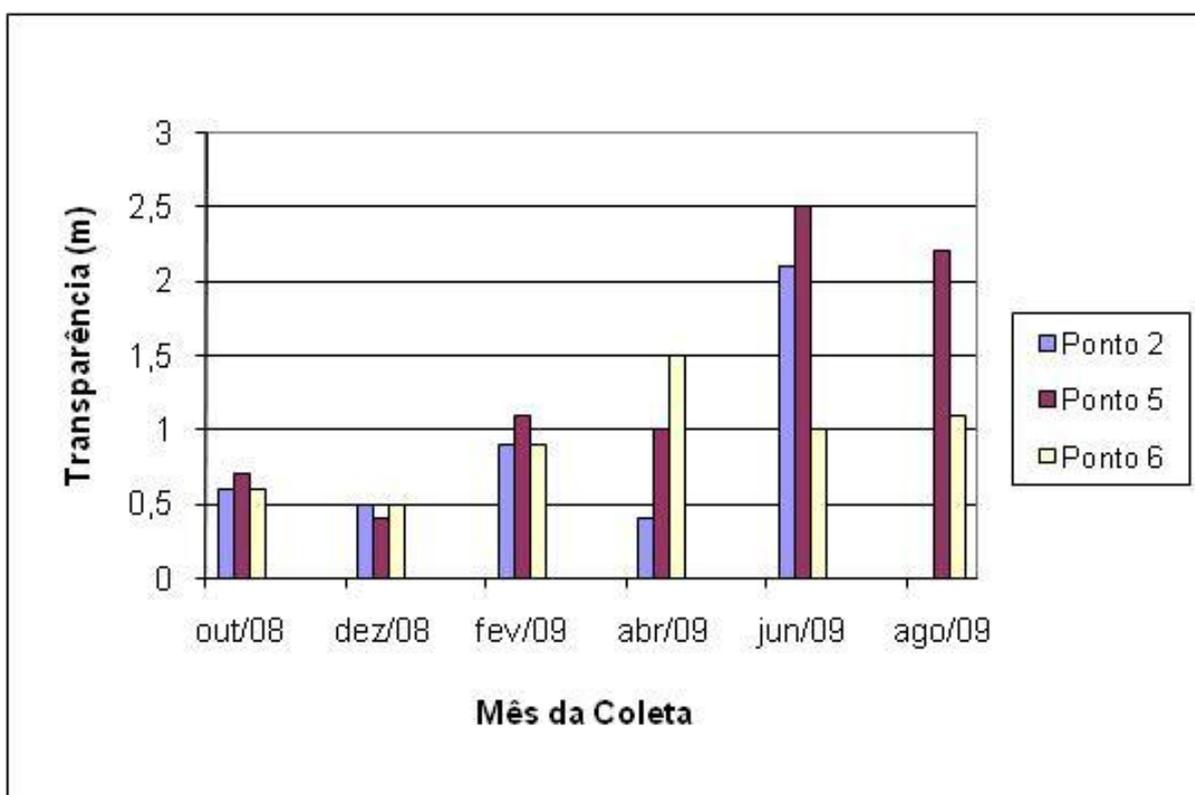


Figura 17 - Valores de transparência nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

Entre outubro de 2008 e agosto de 2009, os maiores valores de transparência da água no reservatório de Rio Bonito foram registrados nas campanhas realizadas em meses apresentando menores precipitações, junho de 2009 com média de 1,87 m e em agosto de 2009 com média de 1,65m. Os menores valores de transparência foram registrados em outubro de 2008 com média de 0,63 m, e dezembro de 2008, com média de 0,47m, meses com maiores precipitações.

O menor valor de transparência no reservatório foi registrado no Ponto 2, em abril de 2008, 0,4m. A média para este ponto foi 0,90 m. O maior valor 2,50 m, em junho de 2009, foi observado no Ponto 5.

A Tabela 28 e a Figura 18 mostram os valores de turbidez dos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 28 - Valores de turbidez nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Turbidez (UNT)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	2,40	4,00	20,00	8,80
dez/08	27,70	16,50	37,00	27,07
fev/09	6,00	10,00	6,00	7,33
abr/09	4,60	3,00	8,60	5,40
jun/09	2,70	2,50	4,60	3,27
ago/09	2,00	2,00	6,00	3,33
Mínimo	2,00	2,00	4,60	
Média	7,57	6,33	13,70	
Máximo	27,70	16,50	37,00	

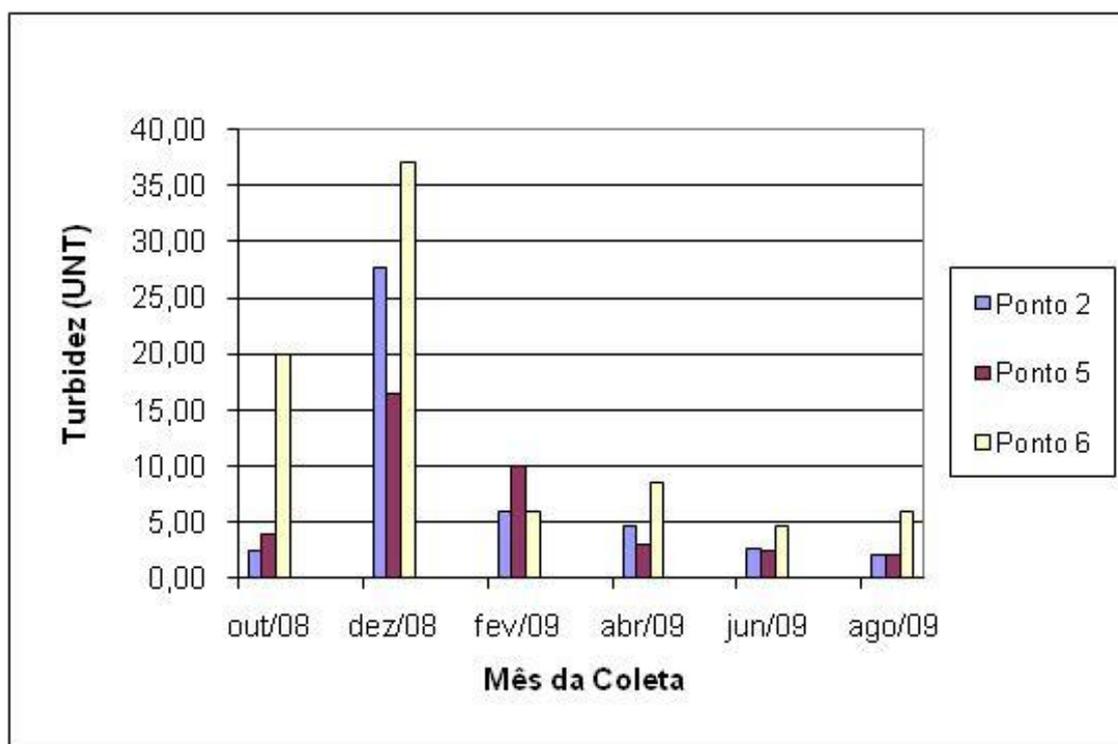


Figura 18 - Valores de turbidez nos pontos situados no interior do reservatório de Rio Bonito

O maior valor de turbidez no interior do reservatório de Rio Bonito foi observado no mês de dezembro de 2008, no Ponto 6 (37,00 UNT), em período com alta precipitação. O menor valor de turbidez foi registrado em agosto de 2009, nos Pontos 2 e 5 (2,00 NTU) em períodos de baixa precipitação.

A Resolução CONAMA nº375/05 para águas da classe 2 considera como limite máximo de turbidez 100 UNT. Desta forma, todos os valores registrados no monitoramento ficaram abaixo deste limite.

Os valores de temperatura da água registrados nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito são apresentados na Tabela 29 e na Figura 19.

Tabela 29- Valores de temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Temperatura da Água (°C)			Média por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	27,10	21,47	25,90	24,82
dez/08	23,50	23,10	22,30	22,97
fev/09	27,22	27,58	28,50	27,77
abr/09	25,90	25,90	25,69	25,83
jun/09	21,77	21,71	21,32	21,60
ago/09	20,40	22,10	21,90	21,47
Mínimo	20,40	21,47	21,32	
Média	24,32	23,64	24,27	
Máximo	27,22	27,58	28,50	

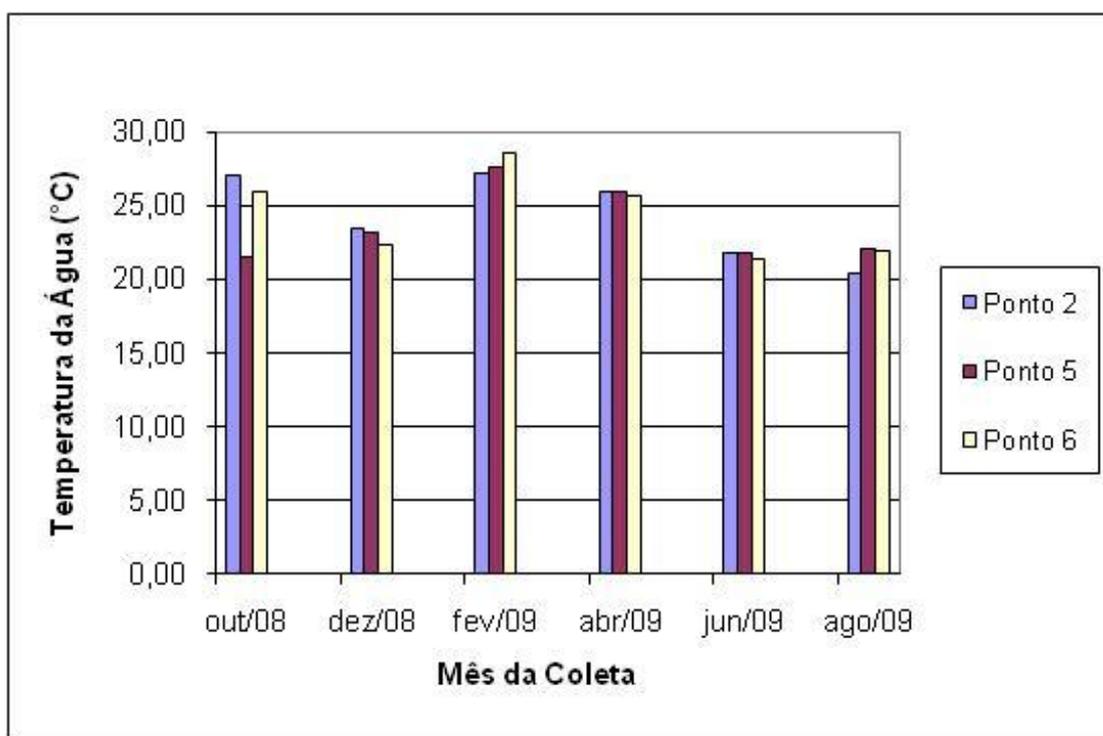


Figura 19 - Valores de temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório de Rio Bonito

O maior valor de temperatura da água no reservatório ocorreu em fevereiro de 2009, no Ponto 2, 28,50 °C, enquanto o menor foi observado em agosto de 2009, no Ponto 6, 20,40°C (Figura 29). A média de temperatura considerando todos os pontos, em todas as campanhas, foi 24,08 °C.

A média de temperatura por campanha foi 24,82°C, em outubro de 2008, 22,97°C, em dezembro de 2008, 27,77°C, em fevereiro de 2009, 25,83°C, em abril de 2009, 21,60°C, em junho de 2009, e 27,47°C, em agosto de 2009.

A Tabela 30 e a Figura 20 apresentam os valores de Coliformes Termotolerantes no interior do reservatório de Rio Bonito. No mês de dezembro de 2008, no Ponto 2, Coliformes Termotolerantes estavam ausentes. No mês de junho de 2009, no Ponto 2, o valor de Coliformes Termotolerantes foi menor que 1,8 (UFC/100 mL).

Tabela 30 - Valores de Coliformes Termotolerantes no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)			Média Por Campanha
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 6	
out/08	4300,00	92,00	78,00	1490,00
dez/08	-	40,00	1400,00	720,00
fev/09	20,00	20,00	45,00	28,33
abr/09	350,00	13,00	130,00	164,33
jun/09	<1,80	20,00	92,00	37,93
ago/09	110,00	390,00	45,00	181,67
Mínimo	<1,80	13,00	45,00	
Média	956,36	95,83	298,33	
Máximo	4300,00	390,00	1400,00	

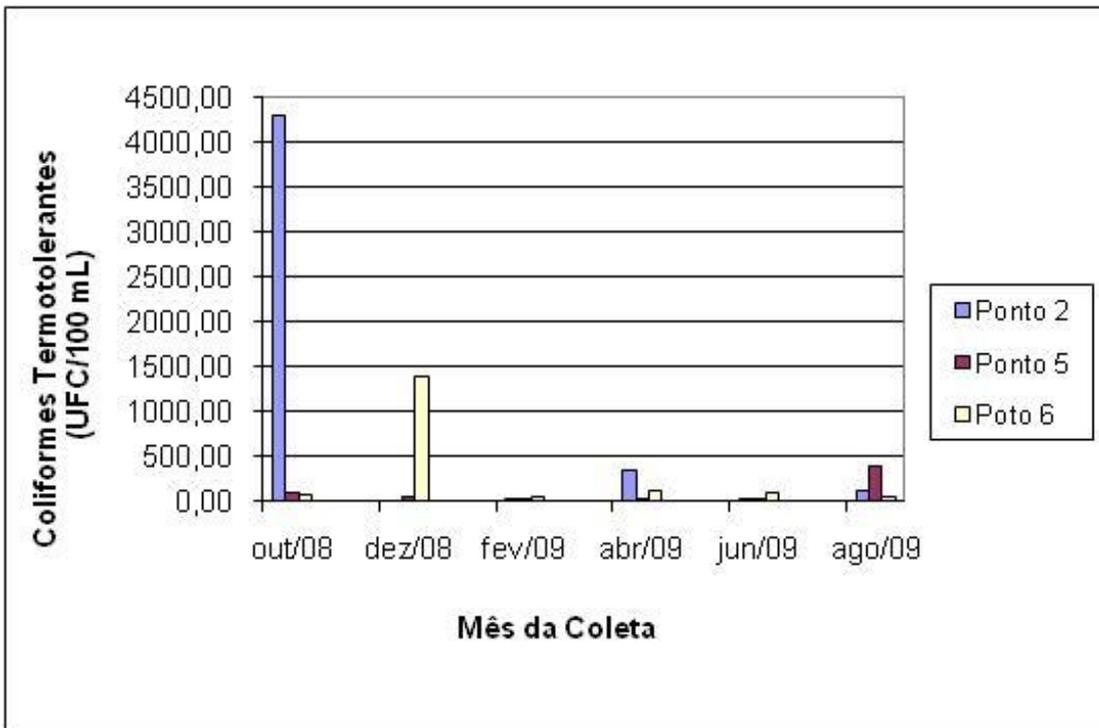


Figura 20 - Concentrações de Coliformes Termotolerantes no interior do reservatório de Rio Bonito.

A menor concentração de Coliformes Termotolerantes, considerando todos os pontos monitorados, foi inferior a 1,80 UFC/100 mL. A média foi 420,40 UFC/100 mL e o máximo 4300,00 UFC/100 mL.

O Ponto 2, mais a jusante, apresentou a maior média, pouco superior a 956 UFC/100 mL. A menor média, para todas as campanhas, correspondeu ao Ponto 5, pouco superior a 390 UFC/100 mL.

A Resolução CONAMA n°375/05 para águas da classe 2 preconiza como limite máximo 1.000 Coliformes Termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, considerando que não há uso de recreação de contato primário. O ponto 2, situado mais a jusante, no interior do reservatório, na campanha de 2008 e o ponto 6, situado mais a montante, na campanha de 2008, apresentaram valores superiores ao referido limite.

5.2.2 Pontos Monitorados no Rio Santa Maria da Vitória

A Tabela 31 e a Figura 21 apresentam as concentrações de fósforo total correspondentes à campanha para os pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória, localizados a montante a jusante da PCH Rio Bonito.

Tabela 31 - Valores de fósforo total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Fósforo Total (mg/L)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	0,093	0,015
dez/08	0,020	0,061
fev/09	0,019	0,020
abr/09	0,099	0,020
jun/09	0,053	0,014
ago/09	0,068	0,001
Mínimo	0,019	0,001
Média	0,059	0,022
Máximo	0,099	0,061

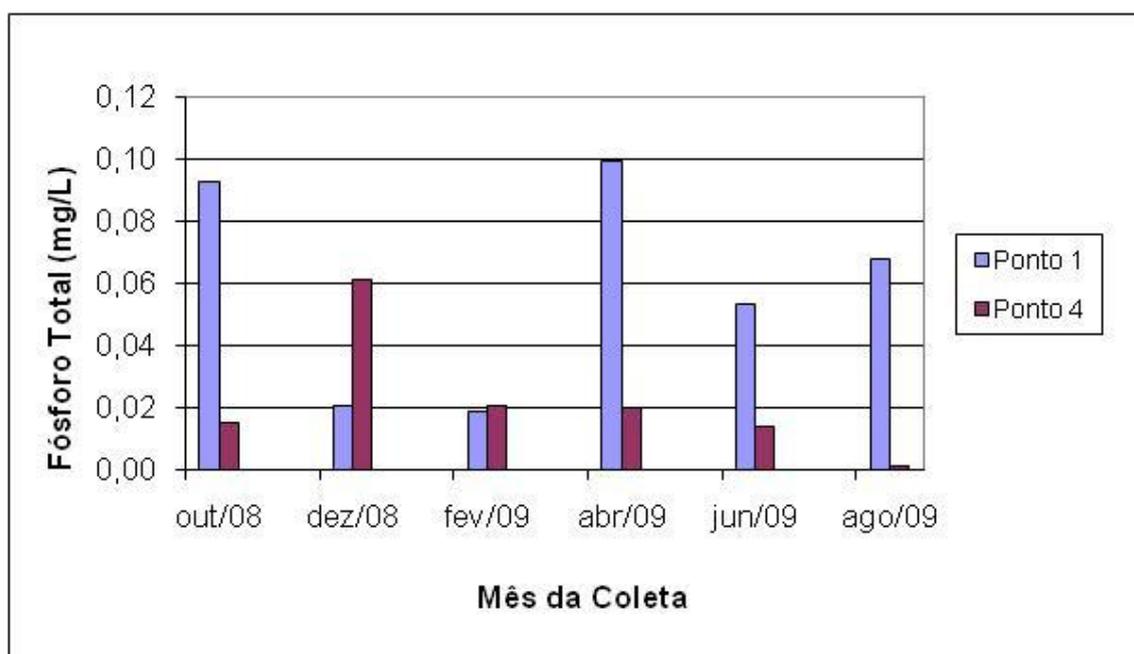


Figura 21 - Concentrações de fósforo total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

O menor valor de fósforo total, considerando os dois pontos monitorados no rio, foi 0,001 mg/L, em agosto de 2009, no Ponto 4, a jusante da PCH. O maior valor registrado foi 0,099 mg/L, em abril de 2009 no Ponto 1, a montante do reservatório da PCH.

As concentrações de fósforo total foram menores no ponto situado a jusante (Ponto 4) do que as observadas no ponto a montante (Ponto 1) em quatro das seis campanhas. A média dos valores observados no Ponto 4 (jusante) foi 0,022 mg/L, 62,62% menor que a média para o Ponto 1 (montante) 0,059 mg/L. Desta forma, ocorreu redução de 62,62% na média de fósforo total entre os pontos situados a montante e a jusante da PCH. Assim, o reservatório de Rio Bonito pode estar funcionando, indevidamente, como uma estação rústica de remoção de nutrientes provenientes do rio Santa Maria da Vitória, reduzindo a concentração de fósforo.

As campanhas nas quais houve reduções de concentrações foram outubro de 2008, abril, junho e agosto de 2009. As reduções de concentração foram, respectivamente, 83,57 %, 79,80%, 73,58 % e 98,53 %.

As campanhas nas quais houve aumento de concentração do Ponto 1 para o Ponto 4, foram dezembro de 2008 e fevereiro de 2009. As precipitações nos meses de dezembro de 2008 e janeiro de 2009, foram 244,5 mm e 283,3 mm, respectivamente. As altas precipitações de dezembro e de janeiro influenciaram no menor tempo de residência da água no reservatório, o qual tem comportas abertas nos momentos de alta pluviosidade. Assim, a não redução da concentração de fósforo do ponto a montante para o ponto a jusante do reservatório pode estar relacionado com menores tempo de detenção neste período chuvoso.

O valor médio de concentração de fósforo total no Ponto 1 (0,059 mg/L) ficou acima do limite permitido pela resolução CONAMA n°.357/2005 para tributários diretos de ambiente lântico, 0,050 mg/L. Nos meses de outubro de 2008 (0,093 mg/L), abril (0,099 mg/L), junho (0,053 mg/L) e agosto (0,068 mg/L) de 2009 os valores no Ponto 1 também superaram o limite de 0,050 mg/L. No Ponto 4 apenas em dezembro de 2008 (0,061 mg/L) o valor foi superior ao preconizado na referida resolução.

As concentrações de nitrogênio total, nos pontos situados a montante e a jusante do reservatório no rio Santa Maria da Vitória, são apresentadas na Tabela 32 e na Figura 22.

Tabela 32 - Concentração de nitrogênio total nos pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Nitrogênio Total (mg/L)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	0,140	0,280
dez/08	0,420	2,077
fev/09	1,020	1,430
abr/09	1,439	0,792
jun/09	0,856	0,649
ago/09	4,233	3,644
Mínimo	0,140	0,280
Média	1,351	1,479
Máximo	4,233	3,644

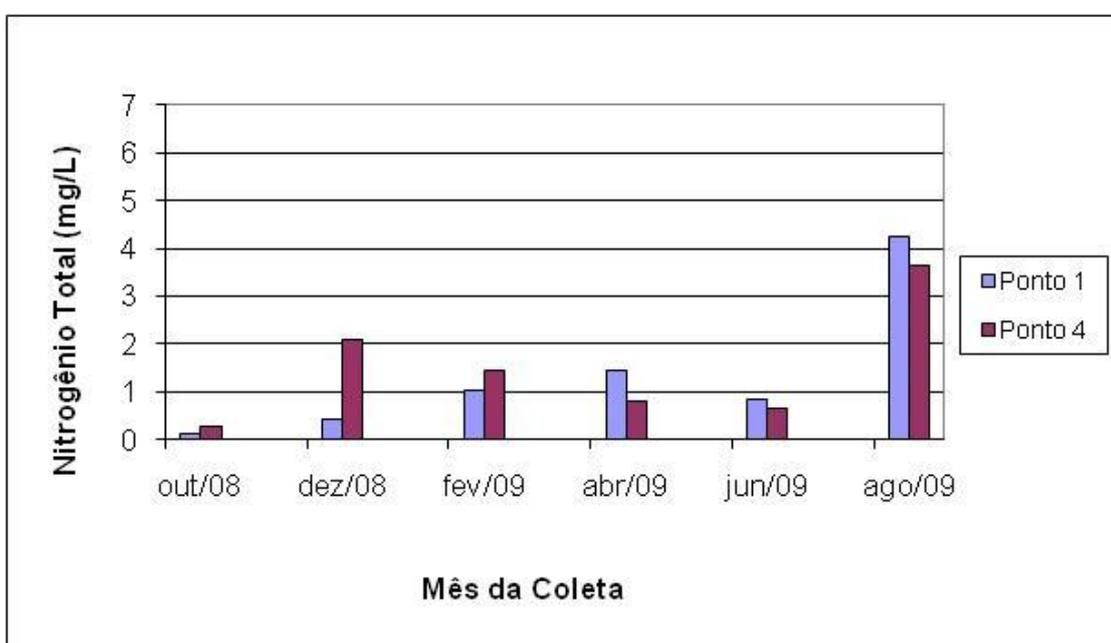


Figura 22 - Concentrações de nitrogênio total nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória. As concentrações de nitrogênio total foram menores no ponto situado a jusante (Ponto 4) do que as observadas no ponto a montante (Ponto 1) em três das seis campanhas. Em abril, junho e agosto de 2009 houve reduções de concentrações na passagem pelo reservatório de respectivamente 44,96 %, 24,18% e 13,91%.

Nos meses de outubro de 2008, dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 ocorreram aumentos nas concentrações de nitrogênio total do Ponto 1 para o Ponto 4. A não redução de concentrações pode estar relacionada com as maiores precipitações do período e, conseqüentemente, com a redução nos tempos de detenção da água no reservatório.

Os valores médios de concentração de nitrogênio total no Pontos 1 (1,351 mg/L) e 4 (1,479 mg/L), ultrapassaram o limite, 1,27mg/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/05.No Ponto 1 nos meses de abril (1,439 mg/L) e agosto (4,233 mg/L) de 2009 os valores ultrapassaram o limite preconizado pela referida resolução. No Ponto 4 nos meses de dezembro de 2008 (2,077mg/L), fevereiro (1,430 mg/L), e agosto (3,644 mg/L) de 2009 foram superiores ao limite 1,27mg/L.

Os valores de clorofila a na superfície da coluna d'água do rio Santa Maria da Vitória são apresentados, na Tabela 33 e na Figura 23.

Tabela 33 - Concentrações de clorofila a na superfície da coluna d'água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Clorofila - a (µg/L)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	1,82	-
dez/08	0,78	0,45
fev/09	1,12	0,54
abr/09	0,00	1,91
jun/09	1,33	1,18
ago/09	1,36	0,01
Mínimo	0,00	0,01
Média	1,07	0,82
Máximo	1,82	1,91

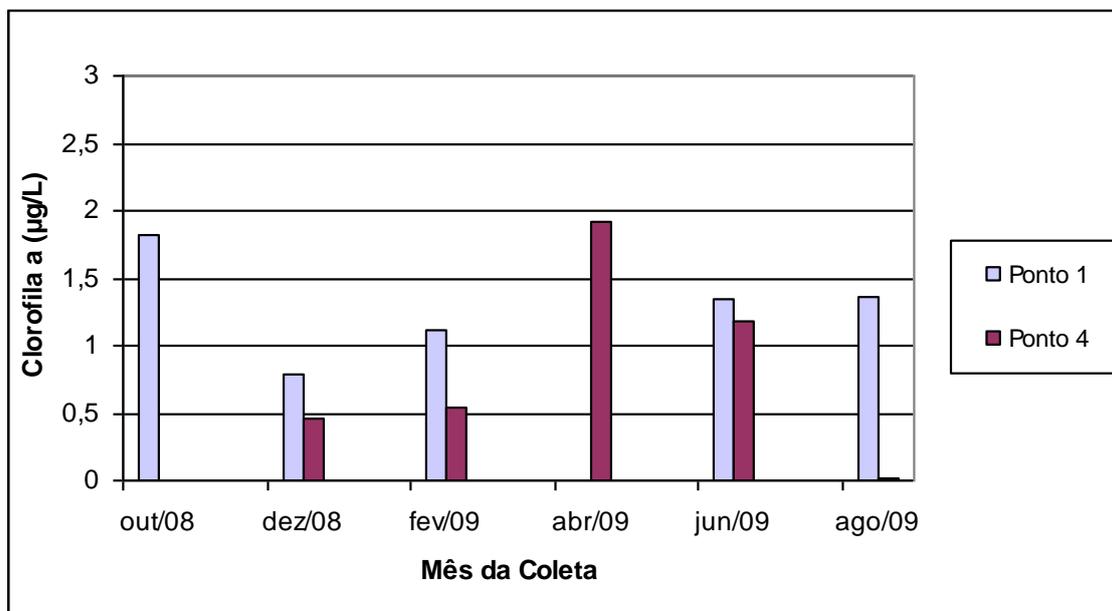


Figura 23 - Concentrações de clorofila a na superfície da coluna d'água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

A maior concentração de clorofila-a no rio Santa Maria da Vitória foi registrada no Ponto 1 em outubro de 2008 (1,82 µg/L), Ponto 4 em abril de 2009 (1,91 µg/L). A menor (0,0 µg/L) foi observada no Ponto 1, em abril de 2009; no Ponto 4, em agosto de 2009 (0,01 µg/L). A média no Ponto 1 foi 1,07 µg/L e no Ponto 4 foi 0,82 µg/L .

No mês de outubro de 2008 não foi realizada medição de clorofila – a no Ponto 4.

O limite máximo de clorofila-a preconizado pela resolução CONAMA nº 357/05 (30 µg/L). Este valor não foi ultrapassado nos pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória.

A Tabela 34 e a Figura 24 mostram os valores de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória a montante (Ponto1) e a jusante (Ponto4) do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 34 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	OD (mg/L)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	5,50	7,90
dez/08	6,90	5,40
fev/09	6,20	6,70
abr/09	6,90	9,50
jun/09	6,80	5,60
ago/09	7,30	7,70
Mínimo	5,50	5,40
Média	6,60	7,13
Máximo	7,30	9,50

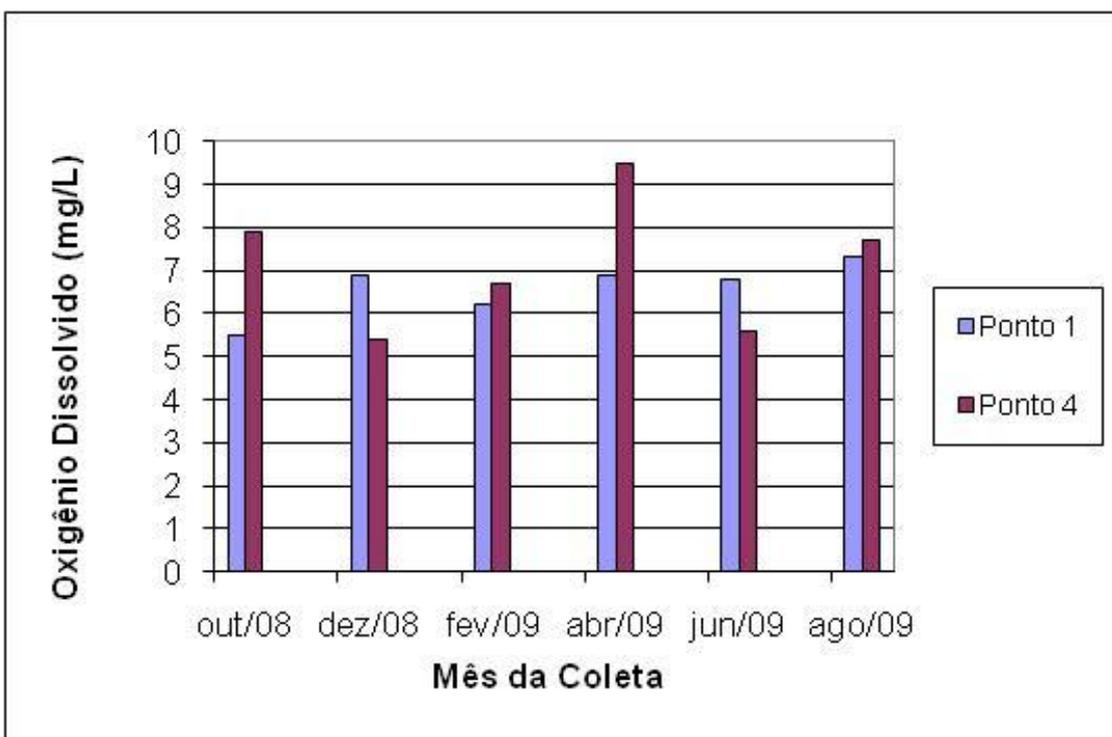


Figura 24 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória

Em todas as campanhas realizadas, entre outubro de 2008 e agosto de 2009, todos os pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória (Figura 36) apresentaram valores de concentração de oxigênio dissolvido acima do limite mínimo preconizado pela CONAMA nº. 357, de março de 2005, para águas da classe 2 (5,0 mg/L). O maior valor foi 9,50 mg/L, em abril de 2009 no Ponto 4. O menor foi 5,40 mg/L, em dezembro de 2008, também no Ponto 4, e a média em todas as campanhas para o Ponto 1 foi 6,60 mg/L e para o Ponto 4 foi 7,13 mg/L .

O valor de oxigênio dissolvido observado no Ponto 4, a jusante do reservatório, em abril de 2009 (9,50 mg/L) foi superior ao valor correspondente à saturação de OD (8,5 mg/L).

Os valores de transparência no Ponto 1 e Ponto 4, localizados no rio Santa Maria da Vitória, são apresentados na Tabela 35 e na Figura 25.

Tabela 35 - Valores de transparência nos ponto situados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Transparência (m)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	0,50	Total
dez/08	0,30	0,30
fev/09	0,20	0,10
abr/09	0,30	0,40
jun/09	1,00	0,60
ago/09	-	2,10
Mínimo	0,20	0,10
Média	0,46	0,70
Máximo	1,00	Total

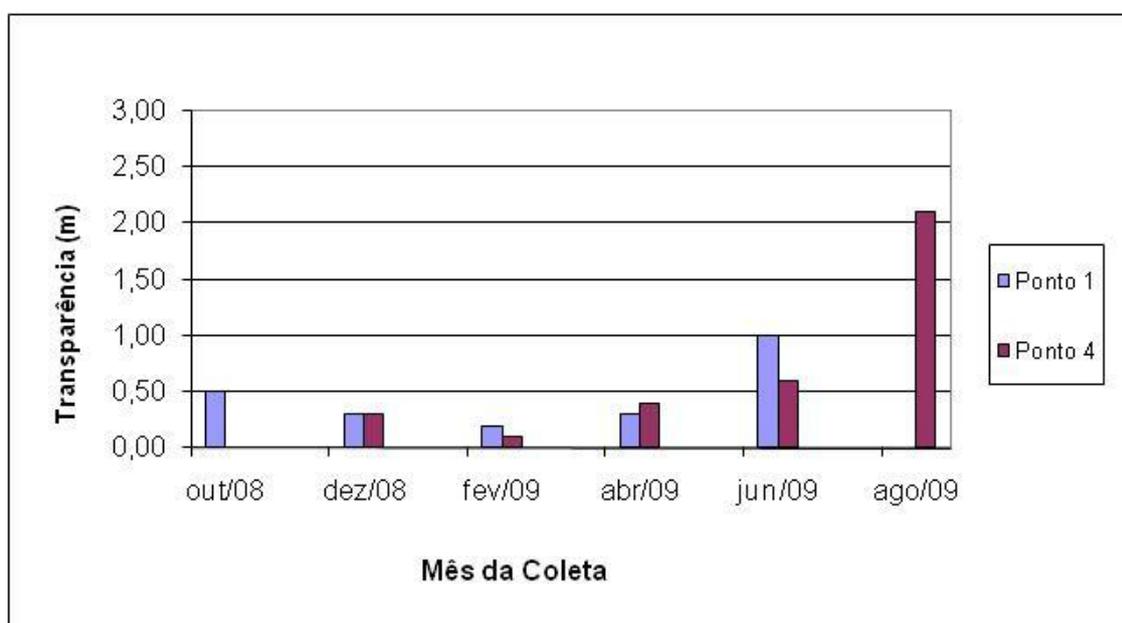


Figura 25- Valores de transparência nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

No mês de outubro de 2008, no Ponto 4, a transparência medida foi total. Em agosto de 2009 a transparência foi medida apenas no Ponto 4. A maior transparência, abaixo apenas da total, foi de 2,1m, em agosto de 2009, no ponto 4. A menor, 0,1 m, em fevereiro de 2009. A média, considerando todas as campanhas, no Ponto 1 foi 0,46 m e no Ponto 4 foi 0,70 m..

A Tabela 36 e a Figura 26 apresentam os valores de turbidez para os pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória.

Tabela 36 - Valores de turbidez nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Turbidez (UNT)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	22,00	4,00
dez/08	48,30	90,60
fev/09	21,00	29,00
abr/09	43,50	8,80
jun/09	46,60	6,00
ago/09	29,00	5,00
Mínimo	21,00	4,00
Média	35,07	23,90
Máximo	48,30	90,60

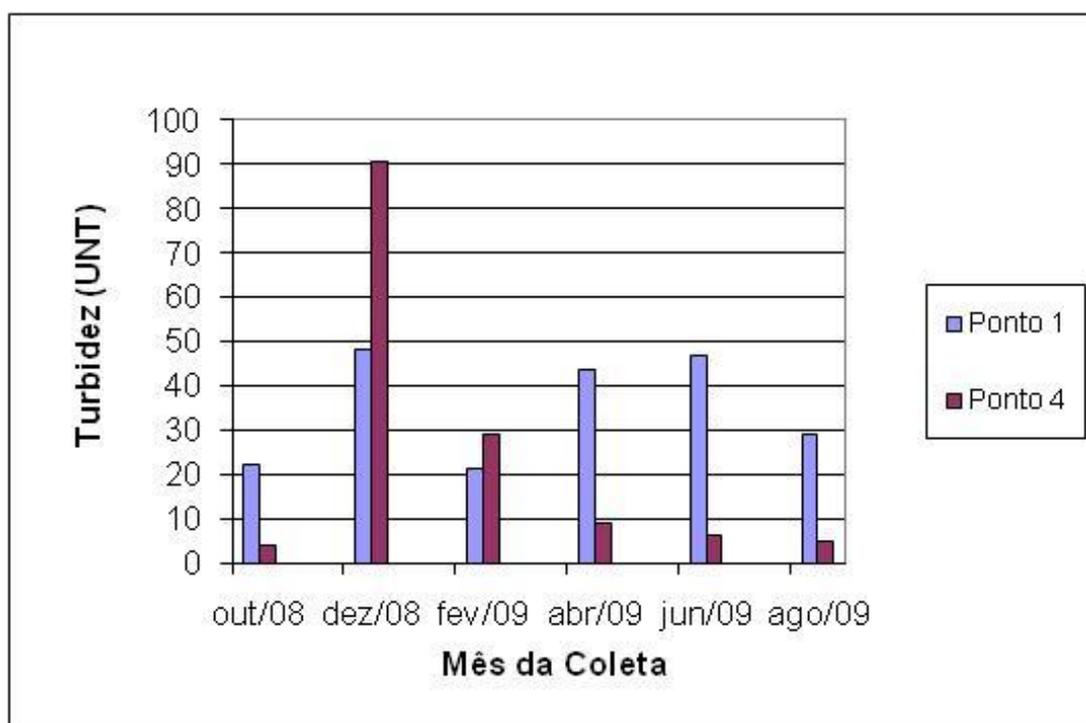


Figura 26 - Valores de turbidez nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

A maior turbidez no rio Santa Maria da Vitória ocorreu no mês de dezembro de 2008 no Ponto 4 (90,60 UNT), o que pode ser explicado pela maior precipitação nos dias anteriores à amostragem. A menor turbidez ocorreu em outubro de 2008 no Ponto 4 (4,00 UNT).

O valor médio de turbidez no Ponto 1 foi 35,07 UNT. No Ponto 4, jusante, foi 31,84% menor, 23,90 UNT.

As campanhas nas quais ocorreram reduções de turbidez, de montante para jusante, foram outubro de 2008 (81,81%), abril de 2009 (79,77%), junho de 2009 (87,12%) e agosto de 2009 (82,76%).

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 o limite de turbidez para corpos d'água de Classe 2 é de 100 UNT. Em nenhuma campanha foram registrados valores superiores a este limite.

Os valores de temperatura da água nos pontos localizados no rio Santa Maria da Vitória são apresentados na Tabela 37 e na Figura 27.

Tabela 37 - Valores de temperatura da água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

Mês/Ano	Temperatura Água (°C)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	22,60	21,47
dez/08	19,54	21,91
fev/09	23,50	24,10
abr/09	22,18	24,45
jun/09	18,34	21,30
ago/09	18,05	22,16
Mínimo	18,05	21,30
Média	20,70	22,57
Máximo	23,50	24,45

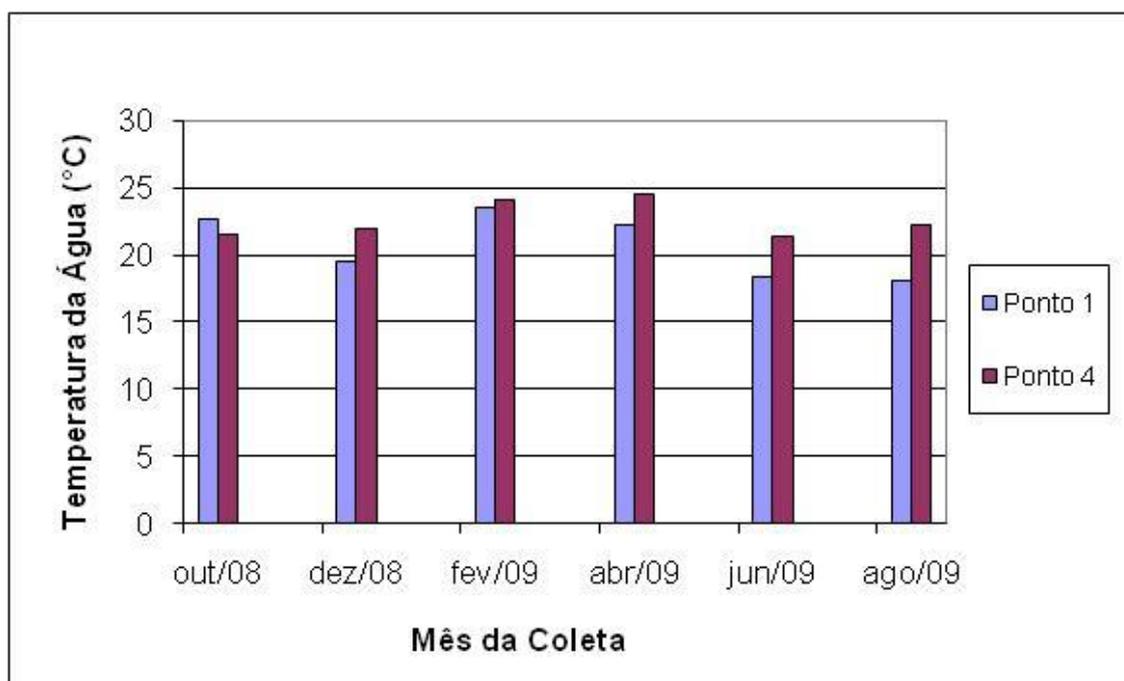


Figura 27- Valores de temperatura da água nos pontos situados no rio Santa Maria da Vitória

O maior valor de temperatura observado na água no rio Santa Maria da Vitória foi 24,45 °C, em fevereiro de 2009, no Ponto 4. O menor valor ocorreu em agosto de 2009, no Ponto 1, 18,05°C (Figura 39).

A Tabela 38 e a Figura 28 apresentam os valores de Coliformes Termotolerantes no rio Santa Maria da Vitória. Nos meses de dezembro de

2008, abril e junho de 2009 no Ponto 1 os valores de Coliformes Termotolerantes foram maiores que 16000 (UFC/100 mL), e nos meses de fevereiro foi menor que 18 (UFC/100 mL) e em junho de 2009 foi menor que 1,8 (UFC/100 mL).

Tabela 38 - Valores de Coliformes Termotolerantes no rio Santa Maria da Vitória

Mês / Ano	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	
	Ponto 1	Ponto 4
out/08	9200,00	16000,00
dez/08	>16000,00	3500,00
fev/09	9200,00	<18,00
abr/09	>16000,00	33,00
jun/09	>16000,00	<1,80
ago/09	16000,00	700,00
Mínimo	9200,00	<1,80
Média	13733,33	3375,46
Máximo	>16000,00	16000,00

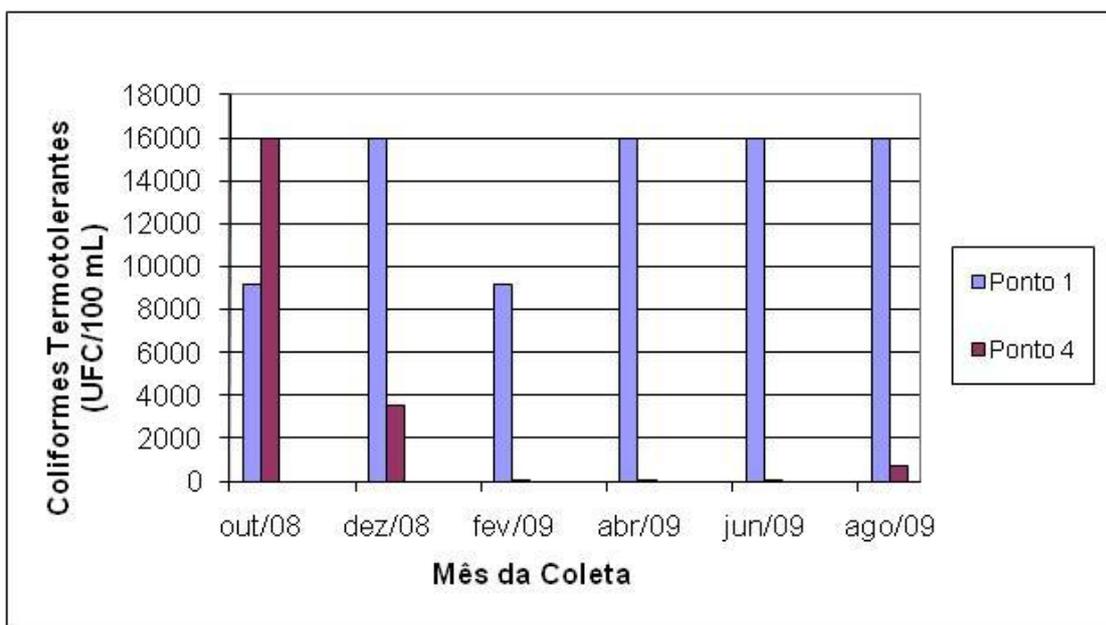


Figura 28 - Valores de Coliformes Termotolerantes no rio Santa Maria da Vitória

A menor concentração de Coliformes Termotolerantes foi, considerando todos os pontos monitorados, menor que 1,80 UFC/100 mL, no Ponto 4, em junho de 2009.

Em três das seis campanhas os valores registrados no Ponto 1, a montante do reservatório, foram superiores a 16000 UFC/ 100 mL. Nestas ocasiões, ocorreram grandes reduções nos índices, entre os Pontos 1, situado a montante, e 4, situado a jusante do reservatório. Na campanha de fevereiro de

2009 também ocorreu grande redução no índice, passando de 9000 para inferior a 18 UFC/ 100 mL.

A campanha realizada em outubro de 2008 foi a única na qual foi registrado aumento no índice de Coliformes Termotolerantes, de montante para jusante.

A Resolução CONAMA n°375/05 para águas da classe 2 preconiza como limite máximo 1.000 Coliformes Termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, considerando que não há uso de recreação de contato primário.

No Ponto 1, situado a montante do reservatório, os índices de Coliformes Termotolerantes, em todas as campanhas, ficaram mais de 9 vezes superiores ao referido limite.

No Ponto 4, a jusante do reservatório, na primeira e na segunda campanha, em outubro e dezembro de 2008, o valor registrado para Coliformes Termotolerantes foi superior ao mesmo limite.

Os resultados indicam a influência da passagem das águas para o reservatório da PCH Rio Bonito na redução dos índices de Coliformes Termotolerantes.

5.3 Nutriente Limitante

O conhecimento do nutriente limitante auxilia na compreensão do fenômeno de eutrofização e seu combate por meio da eliminação ou impedimento do aporte desse nutriente ao corpo hídrico (VON SPERLING, 2001).

O nutriente limitante é aquele que irá controlar a máxima quantidade de biomassa das plantas aquáticas e é o primeiro a ser exaurido. Segundo Vollenweider (1976), quando a razão entre nitrogênio total e fósforo total proposto por for maior que 9 o nutriente limitante é o fósforo. Caso seja menor, o nutriente limitante será o nitrogênio.

A Tabela 39 apresenta os resultados segundo Vollenweider (1976) e Redfield *et al.* (1963) do nutriente limitante para o reservatório de Rio Bonito.

Tabela 39 - Nutriente Limitante no reservatório de Rio Bonito

Ponto 2	PT(mg/L)	NT(mg/L)	NT/PT	Vollenweider	NT/PT	Redfield
Out/08	0,0197	0,14	7,11	N	15,74	N
Dez/08	0,0298	1,353	45,40	P	100,53	P
Fev/09	0,0088	0,86	97,73	P	216,40	P
Abr/09	0,017	0,729	42,88	P	94,95	P
Jun/09	0,01	0,929	92,90	P	205,71	P
Ago/09	0,01	6,073	607,30	P	1344,74	P
Ponto 5						
Out/08	0,0254	0,14	5,51	N	12,20	N
Dez/08	0,0634	0,7	11,04	P	24,45	P
Fev/09	0,0088	0,86	97,73	P	216,40	P
Abr/09	0,009	0,728	80,89	P	179,11	P
Jun/09	0,013	0,788	60,62	P	134,22	P
Ago/09	0,001	3,695	3695,00	P	8181,79	P
Ponto 6						
Out/08	0,0558	0,28	5,02	N	11,11	N
Dez/08	0,0672	1,87	27,83	P	61,62	P
Fev/09	0,0088	0,66	75,00	P	166,07	P
Abr/09	0,023	0,589	25,61	P	56,70	P
Jun/09	0,012	0,549	45,75	P	101,30	P
Ago/09	0,004	2,705	676,25	P	1497,41	P

Considerando a Tabela 39 apenas no mês de outubro de 2008 o nutriente limitante seria o nitrogênio, segundo os métodos de Vollenweider (1976) e Redfield *et al.* (1963). Desta forma, na quase totalidade das campanhas e dos pontos monitorados o nutriente limitante foi o fósforo.

Salas e Martino (1991), estudando lagos e reservatórios da América Latina, baseados na razão de nitrogênio e fósforo, consideraram o fósforo como nutriente limitante na maioria dos corpos hídricos.

No estudo da lagoa Jacuném, localizada no Espírito Santo, realizado por Silva (1998), o nutriente limitante foi o fósforo.

5.4 Modelos Matemáticos

Considerando as vazões médias mensais, a área superficial média do reservatório (2,2 km²) e as concentrações de fósforo total, foram obtidas as cargas (L) de fósforo afluentes (mg/m² ano e g/m² ano).

A Tabela 40 mostra as cargas de fósforo total, estimadas a partir das vazões e das concentrações de fósforo total, para cada campanha de monitoramento, para o Ponto 1, situado a montante do reservatório de Rio Bonito.

Tabela 40 - Cargas de fósforo total estimadas a partir do monitoramento no Ponto 1

Ponto 1 Montante	Fósforo Total (mg/L)	Fósforo Total (mg/m ³)	Vazão (m ³ /s)	Fósforo Total (Kg/ano)	Fósforo Total (mg/m ² ano)	L (P) (g/m ² ano)
out/08	0,093	92,500	1,860	5425,769	2466,260	2,470
dez/08	0,020	20,300	8,230	5268,688	2394,860	2,390
fev/09	0,019	18,700	5,100	3007,588	1367,090	1,370
abr/09	0,099	99,000	5,840	18232,854	8287,660	8,290
jun/09	0,053	53,000	3,950	6602,062	3000,940	3,000
ago/09	0,068	68,000	2,350	5039,453	2290,660	2,290

Tempos de detenção, correspondentes aos meses de monitoramento, apresentados na Tabela 41, foram calculados a partir das estimativas de vazões médias mensais, no Ponto 1, considerando um volume total do reservatório de aproximadamente 13.000.000 m³.

Tabela 41 - Tempo de detenção (anos)

Ano/ Mês	Vazão média (m ³ /s)	Vazão média (m ³ /ano) x 10 ⁶	Tempo de Detenção (anos)	Tempo de detenção (meses)
out/08	1,86	59	0,231	2,80
dez/08	8,23	259	0,052	0,60
fev/09	5,10	160	0,084	1,00
abr/09	5,84	184	0,074	0,90
jun/09	3,95	124	0,109	1,30
ago/09	2,35	74	0,183	2,20
Média	4,56	143	0,120	1,47

Salas e Martino (1991)

A Tabela 42 mostra os valores de cargas e concentrações de fósforo total, além de classificação de estado trófico, de acordo com o modelo de Salas e

Martino (1991), para o reservatório de Rio Bonito, considerando as cargas de fósforo total estimadas a partir dos resultados de monitoramento no Ponto 1.

Tabela 42 - Classificação de estado trófico de acordo com o modelo de Salas e Martino (1991) para o reservatório de Rio Bonito

Ponto 1	Mês	L(P)(g/m ² ano)	P(mg/L)	Classificação
2008	Outubro	2,470	0,0472	Mesotrófica
2008	Dezembro	2,390	0,0139	Oligotrófica
2009	Fevereiro	1,370	0,0118	Oligotrófica
2009	Abril	8,290	0,0642	Mesotrófica
2009	Junho	3,000	0,0319	Mesotrófica
2009	Agosto	2,290	0,0366	Mesotrófica

Segundo Salas e Martino (1991), valores de fósforo total menores que 0,03 mg /L indicam estado trófico oligotrófico, entre 0,03 mg/L e 0,07 mg/L indicam mesotrofia e valores maiores que 0,07 mg/L indicam eutrofia.

Apenas nos meses de dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 o reservatório foi classificado como oligotrófico, nos outros quatro meses a classificação foi mesotrófica.

Considerando a importância do uso do modelo proposto por Salas e Martino para ambientes tropicais, Santos e Florêncio (2001) o utilizaram para obter a classificação trófica para o reservatório de Duas Unas, Pernambuco. A concentração de fósforo total foi de 0,078 mg P /L, o que, de acordo com as faixas de concentração fixadas pelos mesmos autores, indicou um estado eutrófico.

Índice de Estado Trófico (IET) (CARLSON,1977)

O Índice de Estado Trófico (IET) (CARLSON,1977) foi calculado para fósforo total, clorofila *a* e transparência da água. A Tabela 43 apresenta o resultado da classificação trófica do reservatório de Rio Bonito, considerando os resultados do monitoramento, nos diversos pontos.

Tabela 43 - Classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com o IET de Carlson (1977) (continua)

Ponto 2	IET (PT)	Class	IET (Cl <i>a</i>)	Class	IET (Trans)	Class	IET m	Class
out/08	57,16	E	31,43	O	67,37	HE	51,99	E
dez/08	58,13	E	28,53	O	70,00	HE	52,9	E
fev/09	53,65	E	46,11	M	61,52	HE	53,76	E

Tabela 43 - Classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com o IET de Carlson (1977) (conclusão)

Ponto 2	IET (PT)	Class	IET (Cl a)	Class	IET (Trans)	Class	IET m	Class
abr/09	56,71	E	46,64	M	73,22	HE	58,86	E
jun/09	54,42	E	44,16	M	49,30	M	49,29	M
ago/09	54,42	E	24,63	O	-	-	39,52	O
Ponto 5								
out/08	57,80	E	39,39	O	65,15	HE	54,11	E
dez/08	59,12	E	43,72	M	73,22	HE	58,69	E
fev/09	53,65	E	43,58	M	58,62	E	51,95	E
abr/09	53,79	E	47,65	M	60,00	E	53,82	E
jun/09	55,70	E	44,40	M	46,78	M	48,96	M
ago/09	4,15	UO	39,39	O	48,62	M	30,72	O
Ponto 6								
out/08	59,00	E	42,21	M	67,37	HE	56,19	E
dez/08	59,17	E	40,42	M	70,00	HE	56,53	E
fev/09	53,65	E	45,94	M	61,52	HE	53,7	E
abr/09	57,57	E	56,46	E	54,15	E	56,06	E
jun/09	55,35	E	33,26	O	60,00	E	49,54	M
ago/09	46,04	M	-14,61	UO	58,62	E	30,02	O

Para todos os pontos monitorados no reservatório de Rio Bonito, 2, 5 e 6, as condições foram eutróficas segundo o IET médio (IET m) de Carlson (1977) para as quatro primeiras campanhas realizadas em meses apresentando maiores precipitações pluviométricas e temperaturas. Para as duas outras campanhas, realizadas nos meses de junho e agosto de 2009, as condições para todos os pontos foram classificadas como mesotrófica e oligotrófica, respectivamente.

A Tabela 44 apresenta a classificação segundo Carlson (1977) considerando as médias de valores de concentrações de fósforo total, clorofila *a* e transparência em cada campanha, e a concentração média geral de todos os pontos.

Tabela 44 -Classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com o IET de Carlson (1977) considerando a média por campanha

Mês/Ano	Média	Classificação
Outubro	54,52	Eutrófica
Dezembro	56,44	Eutrófica
Fevereiro	53,14	Eutrófica
Abril	56,13	Eutrófica
Junho	49,33	Mesotrófica
Agosto	44,08	Mesotrófica
Média Geral	53,22	Eutrófica

Considerando as médias de valores de concentrações de fósforo total, clorofila a e de transparência, as condições do reservatório da PCH Rio Bonito seriam classificadas como eutrófica. Para as duas últimas campanhas, que apresentaram baixas precipitações pluviométricas e concentração de fósforo total, a classificação seria mesotrófica.

O IET de Carlson é uma ferramenta para classificação trófica mundialmente utilizada. Nove lagos localizados no estado de Karnataka, na Índia, foram classificados por meio do IET de Carlson (1977). O lago Mandakalli foi o único classificado como mesotrófico (IET= 47), três lagos foram classificados como eutróficos (IET de 52 a 57) e cinco hipereutróficos (IET de 61 a 62) (MURTHY *et al.*, 2008).

No Espírito Santo, a lagoa Jacuném, localizada na Serra, foi classificada segundo IET de Carlson como hipereutrófica, com valores entre 68 e 77 (LEAL, 2006).

Bezerra e Pinto (2002) avaliaram o estado trófico pelo IET de Carlson (1977) para o reservatório chamado de Lagoa do Nado, Minas Gerais. As águas do reservatório foram consideradas como mesotróficas entre os meses de setembro de 1999 a setembro de 2000. Durante o período de setembro a maio o reservatório estava estratificado e apresentou – se como eutrófico. Em junho, julho e agosto o reservatório estava em um período de circulação e apresentou – se como mesotrófico. Os pesquisadores concluíram que o grau trófico do reservatório estaria associado com o padrão de estratificação do ambiente, o qual é afetado pela morfometria.

IET modificado por Lamparelli (2004)

O IET modificado por Lamparelli (2004) foi calculado para os pontos de monitoramento localizados no reservatório de Rio Bonito. A Tabela 45 mostra a classificação para o reservatório de Rio Bonito considerando as concentrações de fósforo total e clorofila a (mg/m^3) e transparência (m).

Tabela 45 – Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para as concentrações de fósforo total e clorofila- *a* (mg/ m³), transparência (m)

Ponto 2	Clorofila <i>a</i> (mg/ m ³)	Class	Fósforo Total (mg/ m ³)	IET	Transparência (m)	Class
Out/08	1,09	UO	19,70	M	0,60	SE
Dez/08	0,81	UO	29,80	M	0,50	HE
Fev/09	4,87	M	8,80	O	0,90	E
Abr/09	5,14	M	17,00	O	0,40	HE
Jun/09	3,99	M	10,00	O	2,10	O
Ago/09	0,54	UO	10,00	O	-	-
Ponto 5						
Out/08	2,45	O	25,40	M	0,70	SE
Dez/08	3,82	M	63,40	E	0,40	HE
Fev/09	3,76	M	8,80	O	1,10	M
Abr/09	5,70	M	9,00	O	1,00	E
Jun/09	4,09	M	13,00	O	2,50	O
Ago/09	2,45	O	1,00	UO	2,20	O
Ponto 6						
Out/08	3,27	M	55,80	E	0,60	SE
Dez/08	2,73	O	67,20	E	0,50	HE
Fev/09	4,79	M	8,80	O	0,90	E
Abr/09	14,00	E	23,00	M	1,50	M
Jun/09	1,31	O	12,00	O	1,00	E
Ago/09	0,01	UO	4,00	UO	1,10	M

Nos períodos mais chuvosos, outubro e dezembro de 2008, no Ponto 2, a clorofila *a* classificou o reservatório como ultraoligotrófico, o fósforo total classificou como mesotrófico. Nos três meses seguintes a clorofila *a* classificou o reservatório como mesotrófico e o fósforo total, como oligotrófico. Isso indica que inicialmente a concentração de fósforo aumenta, depois diminui e a de clorofila *a* que anteriormente estava baixa, se eleva. O fósforo foi consumido pelas algas e propiciou a multiplicação das mesmas. Nos pontos 5 e 6 ocorreu processo semelhante de aumento de clorofila *a* após diminuição de fósforo total, influenciando na classificação trófica do reservatório.

A transparência classificou as águas do reservatório de Rio Bonito como supereutróficas em outubro de 2008, e hipereutróficas no mês de dezembro de 2008, nos três pontos monitorados, meses com maiores precipitações pluviométricas. A presença de fitoplâncton, zooplâncton e sólidos suspensos pode influenciar na transparência da água. Assim, nem sempre a transparência indica a classificação trófica mais próxima da realidade. Nos meses de dezembro e outubro de 2008, que apresentaram maiores precipitações, a

classificação pode ter sido influenciada pelos materiais carreados pelas chuvas, como partículas e solo.

A Tabela 46 mostra a classificação para o reservatório de Rio Bonito considerando o IET- Clorofila *a*, IET- Fósforo total e a média aritmética do IET para as concentrações de fósforo total e clorofila *a*.

Tabela 46 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o reservatório de Rio Bonito

Ponto 2	IET Clorofila <i>a</i>	Class	IET Fósforo Total	Class	IET	Class
out/08	47,16	O	52,52	M	49,84	O
dez/08	45,71	UO	55,03	M	50,37	O
fev/09	54,5	M	47,64	O	51,07	O
abr/09	54,76	M	51,63	O	53,20	M
jun/09	53,52	M	48,42	O	50,97	O
ago/09	43,76	UO	48,42	O	46,09	UO
Média	49,90	O	50,61	O	50,26	O
Ponto 5						
out/08	51,14	O	54,06	M	52,60	M
dez/08	53,3	M	59,61	E	56,45	M
fev/09	53,23	M	47,64	O	50,44	O
abr/09	55,27	M	47,78	O	51,52	O
jun/09	53,64	M	50,01	O	51,82	O
ago/09	51,14	O	34,46	UO	42,80	UO
Média	52,95	M	48,93	O	50,94	O
Ponto 6						
out/08	52,55	M	58,83	M	55,69	M
dez/08	51,65	O	59,96	E	55,80	M
fev/09	54,41	M	47,64	O	51,03	O
abr/09	59,67	E	53,46	M	56,57	M
jun/09	48,07	O	49,52	O	48,80	O
ago/09	24,14	UO	42,86	UO	33,50	UO
Média	48,42	O	52,05	M	50,23	O

Segundo a CETESB, os resultados correspondentes ao fósforo total, IET(P), devem ser considerados como uma medida do potencial de eutrofização, pois este nutriente atua como o agente causador do processo. O IET clorofila *a*, IET(CL), deve ser considerado como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, fósforo total, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas no ambiente aquático analisado. Esse fato pode ser observado nos três pontos monitorados no interior do reservatório. Inicialmente o IET fósforo total classifica o reservatório como mesotrófico (Ponto 2 em outubro e dezembro de 2008, Pontos 5 e 6 em outubro de 2008) e eutrófico (Pontos 5 e 6 em dezembro de 2008), nos meses com maiores precipitações, e

nos próximos meses o IET clorofila *a* classifica o reservatório entre mesotrófico (Pontos 2 e 5 em fevereiro, abril e junho de 2009, Ponto 6 em fevereiro de 2009) e eutrófico (Ponto 6 em abril de 2009).

Segundo o IET de Lamparelli (2004), após a média aritmética do IET para as concentrações de fósforo total e clorofila *a*, o reservatório foi classificado como mesotrófico nos meses de outubro e dezembro de 2008, meses com maior precipitação pluviométrica, considerando os pontos 5 e 6 no interior do reservatório. Em abril de 2009 nos três pontos monitorados a classificação foi mesotrófica. Nas outras campanhas a classificação variou entre oligotrófica e ultra-oligotrófica. Considerando as médias dos valores o reservatório foi classificado como oligotrófico nos três pontos.

O uso do IET de Lamparelli (2004) para os corpos d'água lênticos da bacia da hidrográfica da lagoa Mirim (Barragem do Chasqueiro, Barragem da Eclusa, Porto, Dique e Reserva do Taim) indicou estados eutróficos e hipereutróficos (FIA *et al.*, 2009).

Pereira (2009) classificou por meio do IET de Lamparelli (2004) as águas dos reservatórios da Usina Hidrelétrica de Energia Luiz Carlos Barreto de Carvalho e da Usina Hidrelétrica de Energia Marechal Mascarenhas de Moraes, localizados na bacia hidrográfica do médio Rio Grande, MG, para os meses de dezembro de 2007 e março, junho e setembro de 2008. As águas dos dois reservatórios foram classificadas como eutróficas, para todos os meses.

Cinco estações do reservatório de Billings, de um total de vinte analisadas, apresentaram mesotrofia, de acordo com o IET de Lamparelli (2004). As demais estações foram classificadas como oligotróficas segundo Silva *et al* (2007).

Garcia *et al* (2007) avaliaram o grau de trofia do reservatório de Ilha Solteira, por meio do IET de Carlson (1977) modificado por Toledo (1984 *apud* LAMPARELLI, 2004) e do IET de Lamparelli (2004). As águas do reservatório apresentaram grau de trofia entre oligotrófico e mesotrófico de acordo com o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo (1984 *apud* LAMPARELLI, 2004). A Tabela 47 mostra a classificação para os pontos monitorados no rio Santa Maria da Vitória considerando as concentrações de fósforo total e clorofila *a*

(mg/ m³), transparência (m), segundo o IET modificado por Lamparelli (2004), para rios.

Tabela 47 - Classificação do IET modificado por Lamparelli (2004) para os pontos de monitoramento localizados no rio Santa Maria da Vitória

Ponto 1	Clorofila a (mg/m ³)	Clas	Fósforo Total (mg/m ³)	Clas
Out/08	1,82	M	92,50	M
Dez/08	0,78	O	20,30	O
Fev/09	1,12	O	18,70	O
Abr/09	0,00	UO	99,00	M
Jun/09	1,33	M	53,00	M
Ago/09	1,36	M	68,00	M
Ponto 4				
Out/08	-	-	15,20	O
Dez/08	0,45	UO	60,80	M
Fev/09	0,54	UO	20,40	O
Abr/09	1,91	M	20,00	O
Jun/09	1,18	O	14,00	O
Ago/09	0,01	UO	1,00	UO

A classificação trófica segundo a Clorofila a, do Ponto 1 para o Ponto 4 em junho e agosto de 2009 sofreu modificação do grau de trofia, de mesotrófico para oligotrófico e ultraoligotrófico.

Nos meses de outubro de 2008, abril, junho e agosto de 2009, o Ponto 1 foi classificado como mesotrófico, o Ponto 2, nesses mesmos meses foi classificado como oligotrófico, exceto em agosto de 2009, como ultraoligotrófico. Há diminuição no grau trófico de montante para jusante no reservatório, indicando certa depuração da água dentro do reservatório.

A Tabela 48 mostra a classificação para as regiões monitoradas do rio Santa Maria da Vitória considerando a média aritmética do IET para as concentrações de fósforo total e clorofila a (mg/ m³).

Tabela 48 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o rio Santa Maria da Vitória (continua)

Ponto 1	IET Clorofila a	Class	IET Fósforo Total	Class	IET	Class
out/08	55,28	M	57,45	M	56,37	M
dez/08	47,95	O	49,58	O	48,76	O
fev/09	51,10	O	49,15	O	50,12	O
abr/09	-	-	57,81	M	-	-
jun/09	52,63	M	54,56	M	53,59	M
ago/09	52,79	M	55,86	M	54,32	M
Média	51,95	O	54,07	M	52,63	M

Tabela 48 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o rio Santa Maria da Vitória (conclusão)

Ponto 4	IET Clorofila a	Class	IET Fósforo Total	Class	IET	Class
out/08	-	-	48,07	O	-	-
dez/08	43,28	UO	55,27	M	49,28	O
fev/09	44,86	UO	49,60	O	47,23	O
abr/09	55,70	M	49,50	O	52,60	M
jun/09	51,55	O	47,65	O	49,60	O
ago/09	10,24	UO	33,94	UO	22,09	UO
Média	41,13	UO	47,34	O	44,16	UO

A classificação dos trechos de rio monitorados foi mesotrófico em três das seis campanhas para o Ponto 1 (outubro de 2008, junho e agosto de 2009) segundo IET de Clorofila a. No Ponto 4 ocorreu redução da trofia, em junho e agosto de 2009 a classificação foi oligotrófica e ultra-oligotrófica, respectivamente.

O IET referente a fósforo total classificou o Ponto 1 como mesotrófico em quatro das seis campanhas. Apenas em dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 a classificação foi oligotrófica, meses com baixas concentrações de fósforo total. No Ponto 4 a classificação foi oligotrófica em quatro das seis campanhas. Em dezembro de 2008 o IET (PT) indicou mesotrofia e em agosto de 2009, ultra- oligotrofia.

A classificação do IET, após a média aritmética entre o IET (Clorofila a) e o IET (Fósforo Total), para o Ponto 1 foi mesotrófica em três das seis campanhas. O Ponto 4 foi classificado como oligotrófico em três das seis campanhas e ultra-oligotrófico em uma campanha, indicando uma melhoria da água do reservatório de montante para jusante.

Considerando a importância do IET de Lamparelli (2004) para classificação trófica de rios localizados em regiões tropicais Gomes (2010) por meio deste IET classificou o rio Catolé, localizado na Bahia, como supereutrófico na primeira campanha e como hipereutrófico nas três últimas campanhas.

A Tabela 49 apresenta a classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o reservatório de Rio Bonito considerando médias por campanha e a média geral dos três pontos.

Tabela 49 - Classificação segundo IET de Lamparelli (2004) para o reservatório de Rio Bonito considerando médias por campanha e média geral

Mês/Ano	IET Clorofila a	Class	IET Fósforo Total	Class	IET	Class
out/08	50,28	O	55,14	M	52,71	M
dez/08	50,22	O	58,20	M	54,21	M
fev/09	54,05	M	47,64	O	50,84	O
abr/09	56,57	M	50,96	O	53,76	M
jun/09	51,74	O	49,31	O	50,53	O
ago/09	39,68	UO	41,91	UO	40,80	UO
Média Geral	50,42	O	50,53	O	50,48	O

Nos meses de outubro e dezembro de 2008 a classificação do reservatório de Rio Bonito segundo o IET de fósforo total foi mesotrófica, nas campanhas seguintes foi oligotrófica, ultra-oligotrófica na última campanha, em agosto de 2009. A classificação segundo o IET de clorofila a foi oligotrófica nos meses de outubro e dezembro de 2008 e mesotrófica nas duas campanhas seguintes. Isso indica que inicialmente ocorreu um aumento de fósforo total nos meses com maiores precipitações e depois uma diminuição devido ao consumo desse nutriente pelas algas.

A classificação segundo a média geral das concentrações de fósforo e clorofila a de todos os pontos foi oligotrófica.

IET da Flórida

A Tabela 50 apresenta a classificação do reservatório de Rio Bonito de acordo com os resultados do IET da Flórida.

Tabela 50 - Classificação do IET Flórida para o reservatório de Rio Bonito (continua)

Ponto 2	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Clas	Fósforo Total (mg/L)	Clas	Nitrogênio Total (mg/L)	Clas	IET	Clas
out/08	1,092	Boa	0,020	Boa	0,140	Boa	32,30	Boa
dez/08	0,812	Boa	0,030	Boa	1,353	Aceitável	35,06	Boa
fev/09	4,875	Boa	0,009	Boa	0,860	Boa	33,57	Boa
abr/09	5,144	Boa	0,017	Boa	0,729	Boa	41,72	Boa
jun/09	3,997	Boa	0,010	Boa	0,929	Aceitável	33,65	Boa
ago/09	0,546	Boa	0,010	Boa	6,073	Ruím	19,31	Boa
Média	2,744	Boa	0,016	Boa	1,681	Aceitável	32,60	Boa
Ponto 5								
out/08	2,457	Boa	0,025	Boa	0,140	Boa	41,14	Boa
dez/08	3,823	Boa	0,063	Aceitável	0,700	Boa	55,12	Boa
fev/09	3,766	Boa	0,009	Boa	0,860	Boa	31,71	Boa
abr/09	5,705	Boa	0,009	Boa	0,728	Boa	34,96	Boa

Tabela 50 - Classificação do IET Flórida para o reservatório de Rio Bonito (conclusão)

Ponto 2	Clorofila a (µg/L)	Clas	Fósforo Total (mg/L)	Clas	Nitrogênio Total (mg/L)	Clas	IET	Clas
jun/09	4,096	Boa	0,013	Boa	0,788	Boa	36,92	Boa
ago/09	2,457	Boa	0,001	Boa	3,695	Ruím	2,97	Boa
Média	3,717	Boa	0,020	Boa	1,152	Aceitável	33,80	Boa
Ponto 6								
out/08	3,276	Boa	0,056	Boa	0,280	Boa	52,50	Boa
dez/08	2,730	Boa	0,067	Aceitável	1,870	Ruím	53,38	Boa
fev/09	4,790	Boa	0,009	Boa	0,660	Boa	33,44	Boa
abr/09	14,001	Boa	0,023	Boa	0,589	Boa	52,50	Boa
jun/09	1,316	Boa	0,012	Boa	0,549	Boa	27,80	Boa
ago/09	0,010	Boa	0,004	Boa	2,705	Ruím	20,30	Boa
Média	4,354	Boa	0,028	Boa	1,109	Aceitável	33,22	Boa

A classificação segundo IET da Flórida para a água do reservatório de Rio Bonito foi “boa” considerando todas as campanhas e todos os pontos. Em relação à clorofila a foi “boa” em todas as campanhas, o fósforo total classificou como boa em quase todas as campanhas, exceto em dezembro de 2008, que nos Pontos 5 e 6 a classificação foi aceitável. O nitrogênio total classificou a água do reservatório como aceitável e ruim nos meses com menores precipitações, junho e agosto de 2009 em todos os três pontos monitorados.

Sigua *et al* (2006) estudaram o estado trófico dos lagos Lindsey, Spring e Bystere localizados na Flórida, EUA por meio da aplicação do IET da Flórida. Os lagos Lindsey e Spring foram considerados limitados por fósforo. O IET da Flórida para os lagos Lindsey, Spring e Bystere foram 35, 30, e 46, respectivamente, assim são classificados como tendo água boa.

A Tabela 51 apresenta a classificação trófica, segundo o IET da Flórida, para as médias das concentrações de clorofila a e fósforo total das seis campanhas e para a média geral relativas aos três pontos do reservatório de Rio Bonito, para as seis campanhas.

Tabela 51 - Classificação segundo o IET da Flórida para a média das campanhas e média geral dos três pontos do reservatório de Rio Bonito (continua)

Ano/Mês	IET Flórida	Classificação
Out/08	43,91	Boa
Dez/08	49,91	Boa
Fev/09	32,96	Boa
Abr/09	44,68	Boa

Tabela 51 - Classificação segundo o IET da Flórida para a média das campanhas e média geral dos três pontos do reservatório de Rio Bonito (conclusão)

Ano/Mês	IET Flórida	Classificação
Jun/09	33,73	Boa
Ago/09	15,54	Boa
Média Geral	41,67	Boa

A classificação da água do reservatório de Rio Bonito para todas as campanhas, segundo o IET da Flórida, foi boa.

OECD

A Tabela 52 mostra a classificação trófica do reservatório de Rio Bonito segundo a OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004) de acordo com as concentrações de fósforo total e clorofila *a* e transparências, medida por Disco de Secchi.

Tabela 52 - Classificação segundo a OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004)

Ponto 2	Fósforo Total		Clorofila <i>a</i>		Transparência	
	(µg/L)	Clas	(µg/L)	Clas	(m)	Clas
Out/08	19,7	M	1,092	O	0,6	HE
Dez/08	29,8	M	0,8122	UO	0,5	HE
Fev/09	8,8	O	4,875	M	0,9	HE
Abr/09	17	M	5,144	M	0,4	HE
Jun/09	10	O-M	3,997	M	2,1	E
Ago/09	10	O	0,546	UO	-	
Ponto 5						
Out/08	25,4	M	2,457	O	0,7	HE
Dez/08	63,4	E	3,8225	M	0,4	HE
Fev/09	8,8	O	3,766	M	1,1	HE
Abr/09	9	O	5,705	M	1	HE
Jun/09	13	M	4,096	M	2,5	E
Ago/09	1	UO	2,457	O	2,2	E
Ponto 6						
Out/08	55,8	E	3,276	M	0,6	HE
Dez/08	67,2	E	2,7303	M	0,5	HE
Fev/09	8,8	O	4,79	M	0,9	HE
Abr/09	23	M	14,001	E	1,5	E
Jun/09	12	M	1,316	O	1	HE
Ago/09	4	UO	0,01	UO	1,1	HE

A classificação do reservatório segundo a concentração de fósforo total foi em outubro de 2008, no Ponto 2 e 5, mesotrófica, e no Ponto 6 eutrófica. Em dezembro de 2008 foi eutrófica nos Pontos 5 e 6 e mesotrófica no Ponto 2, meses com maiores precipitações. Segundo a concentração de clorofila *a* foi em dez campanhas mesotrófica. Em relação à transparência foi hipereutrófica

na maioria das campanhas, em junho de 2009 no Ponto 2, junho e agosto de 2009 no Ponto 5 e em abril de 2009 no Ponto 6 a classificação foi eutrófica. Isso pode ser influência das algas e de materiais provenientes da erosão do solo.

A Tabela 53 apresenta os valores médios por campanha considerando os Pontos 2, 5 e 6 localizados no interior do reservatório de Rio Bonito e a média geral dos três pontos em todas as campanhas.

Tabela 53 - Média por campanha e média geral dos três pontos no interior do reservatório de Rio Bonito

Mês/Ano	Fósforo Total (µg/L)	Média por campanha		Transparência (m)	Clas	
		Clas	Clorofila a (µg/L)			
Out/08	33,63	Mesotrófica	2,28	Oligotrófica	0,63	Hipereutrófica
Dez/08	53,47	Eutrófica	2,45	Oligotrófica	0,47	Hipereutrófica
Fev/09	8,80	Oligotrófica	4,48	Mesotrófica	0,97	Hipereutrófica
Abr/09	16,33	Mesotrófica	8,28	Eutrófica	0,97	Hipereutrófica
Jun/09	11,67	Mesotrófica	3,14	Mesotrófica	1,87	Eutrófica
Ago/09	5,00	Oligotrófica	1,01	Oligotrófica	1,65	Eutrófica
Média Geral	21,00	Mesotrófica	3,61	Mesotrófica	1,06	Hipereutrófica

A média, por campanha, para fósforo total indicou mesotrofia no mês de outubro de 2008 e eutrofia em dezembro de 2008, na campanha seguinte, fevereiro de 2009 indicou oligotrofia. A Clorofila a classificou a água do reservatório, nas duas primeiras campanhas, como oligotrófica, nas campanhas seguintes, fevereiro e junho de 2009 como mesotrófica, e abril de 2009 como eutrófica. Isso indica consumo de fósforo total pelas algas. A transparência classificou a água do reservatório como hipereutrófica em quatro das seis campanhas, nas duas últimas campanhas a classificação foi eutrófica. Sólidos suspensos e algas podem ter influenciado estes resultados.

De acordo com a concentração média geral de fósforo total e clorofila a, a classificação para o corpo d' água foi mesotrófica. Em relação à transparência foi hipereutrófica.

Hennemann e Petrucio, (2010) utilizaram o índice da OCDE (1982) para avaliar o estado de eutrofização da lagoa costeira Peri, localizada em Santa Catarina, Brasil. Segundo os autores, este índice superestimou o nível trófico da lagoa em relação aos parâmetros fósforo total (mesotrófico, mesotrófico) e

transparência (eutrófico, hipereutrófico) nas campanhas realizadas, quando comparado com o índice probabilístico de Salas e Martino (1991) (fósforo total - oligotrófico).

Classificação com a distribuição de probabilidades de níveis tróficos

Outra classificação da trofia dos corpos d'água foi obtida através do gráfico de distribuição de probabilidades de níveis tróficos, adaptado por Salas e Martino (1991) para lagos tropicais.

A partir das curvas de distribuição probabilística de Salas e Martino (1991) foram obtidas as probabilidades de ocorrência de diferentes níveis tróficos, apresentados na Tabela 54 e Anexos II.

Tabela 54 - Distribuição de probabilidade do estado trófico do reservatório de Rio Bonito (continua)

Ponto 2	Mês	PT (mg/m ³)	Probabilidade (%)	Classificação
2008	Out	19,7	70	Oligotrófico
			18	Ultraoligotrófico
			12	Mesotrófico
2008	Dez	29,8	50	Mesotrófico
			47	Oligotrófico
			2	Ultraoligotrófico
			1	Eutrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
			25	Oligotrófico
2009	Abr	17	71	Oligotrófico
			20	Ultraoligotrófico
			9	Mesotrófico
2009	Jun	10	66	Ultraoligotrófico
			33	Oligotrófico
			1	Mesotrófico
2009	Ago	10	66	Ultraoligotrófico
			33	Oligotrófico
			1	Mesotrófico
Ponto 5				
2008	Out	25,4	59	Oligotrófico
			34	Mesotrófico
			5	Ultraoligotrófico
			2	Eutrófico
2008	Dez	63,4	55	Mesotrófico

Tabela 54 - Distribuição de probabilidade do estado trófico do reservatório de Rio Bonito (conclusão)

Ponto 5	Mês	PT (mg/m ³)	Probabilidade (%)	Classificação
2008	Dez	63,4	38	Eutrófico
			5	Oligotrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
			25	Oligotrófico
2009	Abr	9	75	Ultraoligotrófico
			25	Oligotrófico
2009	Jun	13	60	Ultraoligotrófico
			37	Oligotrófico
			3	Mesotrófico
2009	Ago	1	100	Ultraoligotrófico
Ponto 6				
2008	Out	55,8	68	Mesotrófico
			22	Eutrófico
			8	Oligotrófico
2008	Out	55,8	2	Hipereutrófico
2008	Dez	67,2	49	Mesotrófico
			46	Eutrófico
			3	Oligotrófico
			2	Hipereutrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
			25	Oligotrófico
2009	Abr	23	64	Oligotrófico
			28	Mesotrófico
			8	Ultraoligotrófico
2009	Jun	12	63	Ultraoligotrófico
			35	Oligotrófico
			2	Mesotrófico
2009	Ago	4	98	Ultraoligotrófico

A Tabela 55 apresenta as classificações para o reservatório de Rio Bonito com maiores percentagens de ocorrência.

Tabela 55 - Classificações apresentando maiores percentagens nos Pontos 2, 5 e 6 nas seis campanhas (continua)

Ponto 2	Mês	PT (mg/m ³)	Probabilidade (%)	Classificação
2008	Out	19,7	70	Oligotrófico
2008	Dez	29,8	50	Mesotrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
2009	Abr	17	71	Oligotrófico
2009	Jun	10	66	Ultraoligotrófico
2009	Ago	10	66	Ultraoligotrófico

Tabela 55 - Classificações apresentando maiores percentagens nos Pontos 2, 5 e 6 nas seis campanhas (conclusão)

	Mês	PT (mg/m ³)	Probabilidade (%)	Classificação
Ponto 5				
2008	Out	25,4	59	Oligotrófico
2008	Dez	63,4	55	Mesotrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
2009	Abr	9	75	Ultraoligotrófico
2009	Jun	13	60	Ultraoligotrófico
2009	Ago	1	100	Ultraoligotrófico
Ponto 6				
2008	Out	55,8	68	Mesotrófico
2008	Dez	67,2	49	Mesotrófico
2009	Fev	8,8	75	Ultraoligotrófico
2009	Abr	23	64	Oligotrófico
2009	Jun	12	63	Ultraoligotrófico
2009	Ago	4	98	Ultraoligotrófico

As classificações apresentando maiores probabilidades de ocorrência na campanha de outubro de 2008, nos pontos 2, 5 e 6, respectivamente foram, oligotrófico (70%), oligotrófico (59%) e mesotrófico (68%).

Na campanha de dezembro de 2008 as classificações para todos os três pontos (2, 5 e 6) corresponderam a mesotrófico (50, 55 e 49%, respectivamente). Este fato pode ter sido influenciado pelas maiores pluviosidades do período, (155,7 mm, nos 15 dias anteriores à data da amostragem) e pelas maiores concentrações de fósforo total (dezembro de 2008 : Ponto 2 0,0298 mg P/L, Ponto 5 0,0634 mg P/L e Ponto 6 0,0672 mg P/L).

Para a campanha de fevereiro de 2009 as classificações para todos os pontos foi ultraoligotrófico (75% para todos os pontos). Em abril de 2009 as classificações com maiores probabilidades foram oligotrófico para o Ponto 2 (71%), ultraoligotrófico (75%) para o Ponto 5 e oligotrófico para o Ponto 6 (64%). A campanha realizada em junho de 2009 indicou maiores probabilidades dos três pontos (2,5 e 6) serem ultraoligotróficos (66, 60 e 63% respectivamente).

Para a campanha de agosto de 2009, após 15 dias apresentando precipitação total de apenas 1,7 mm, as classificações para todos os três pontos (2, 5 e 6)

corresponderam a oligotrófica (66, 100 e 98%, respectivamente). As concentrações de fósforo total registradas nesta campanha nos Pontos 2, 5 e 6 foram 0,01; 0,001 e 0,004 mg P/L, respectivamente.

Rodrigues *et al.* (2007) aplicaram o método de distribuição de probabilidade de Salas e Martino (1991) no lago Paranoá em Brasília. Amostras de cinco pontos do lago nos anos de 2004, 2005 e 2006, Ponto A (Braço do Riacho Fundo / ETE Sul), Ponto B (Braço do Gama), Ponto C (Área Central), Ponto D (Braço do Torto) e Ponto E (Braço do Bananal. / ETE Norte). As classificações prováveis foram entre Ultra Oligotrófico (54,9%) e Oligotrófico (36,0%) no ponto A. No ponto B foi Ultra Oligotrófico (84,1%) e Oligotrófico (14,7%). No ponto C foi Ultra Oligotrófico (13,5%) e Oligotrófico (85,5%). No ponto D foi Ultra Oligotrófico (62,10) e Oligotrófico (32,0%). No Ponto E foi Ultra Oligotrófico (2,81%) e Oligotrófico (75,6%).

A aplicação da curva probabilística de Salas e Martino (1991) no reservatório de Duas Unas, Pernambuco, considerou a concentração de 0,051 mg/L de fósforo total (média analítica para a barragem) que resultou na probabilidade de 62% da barragem apresentar estado mesotrófico (SANTOS E FLORÊNCIO, 2001).

Síntese dos resultados

A Tabela 56 mostra a síntese da classificação trófica do reservatório de Rio Bonito de acordo com os modelos aplicados.

Tabela 56 - Comparativo entre a classificação trófica do reservatório de Rio Bonito

Ponto 2	Carga											Chuva 7 dias	Chuva 15 dias
	PT (mg/l)	PT(kg/ano)	SM2	(PT)1	(Cla)1	IET1	(PT)2	(Cla)2	IET2	(PT)3	(Cla) 3		
Out 2008	0,0197	1155,54	O	E	O	E	M	UO	O	M	O	4,90	35,70
Dez 2008	0,0298	7734,33	M	E	O	E	M	UO	O	M	UO	80,60	157,50
Fev 2009	0,0088	1415,34	UO	E	M	E	O	M	O	O	M	7,60	12,00
Abr 2009	0,017	3130,89	O	E	M	E	O	M	M	M	M	27,10	98,20
Jun 2009	0,01	1245,67	UO	E	M	M	O	M	O	O-M	M	15,60	16,10
Ago 2009	0,01	741,10	UO	E	O	O	O	UO	UO	O	UO	1,70	1,70
Ponto 5													
Out 2008	0,0254	1489,89	O	E	O	E	M	O	M	M	O	-	-
Dez 2008	0,0634	16454,92	M	E	M	E	E	M	M	E	M	-	-
Fev 2009	0,0088	1415,34	UO	E	M	E	O	M	O	O	M	-	-
Abr 2009	0,009	1657,53	UO	E	M	E	O	M	O	O	M	-	-
Jun 2009	0,013	1619,37	UO	E	M	M	O	M	O	M	M	-	-
Ago 2009	0,001	74,11	UO	UO	O	O	UO	O	UO	UO	O	-	-
Ponto 6													
Out 2008	0,0558	3273,06	M	E	M	E	E	M	M	E	M	-	-
Dez 2008	0,0672	17441,17	M	E	M	E	E	O	M	E	M	-	-
Fev 2009	0,0088	1415,34	UO	E	M	E	O	M	O	O	M	-	-
Abr 2009	0,023	4235,92	O	E	E	E	M	E	M	M	E	-	-
Jun 2009	0,012	1494,81	UO	E	O	M	O	O	O	M	O	-	-
Ago 2009	0,004	296,44	UO	M	UO	O	UO	UO	UO	UO	UO	-	-

Legenda: SM2 – Curva de Probabilidade de Salas e Martino (1991), (PT)1- fósforo total de Carlson (1977), (Cla)1 – clorofila a de Carlson (1977), IET1 – IET de Carlson (1977), PT2 – fósforo total Lamparelli (2004), Cla2 – clorofila a Lamparelli (2004), IET2 – IET Lamparelli (2004), PT3 – fósforo total OECD (1982), Cla 3 – clorofila a OECD (1982).

A campanha de dezembro de 2008, para a qual corresponderam as maiores vazões e precipitações pluviométricas nos dias anteriores às amostragens, foi aquela para a qual ocorreram as maiores concentrações de fósforo e classificações em níveis tróficos superiores para a quase totalidade dos modelos e índices considerados, para todos os pontos situados no reservatório.

Por outro lado, a campanha de agosto de 2009, para a qual foram registradas as menores vazões e precipitações nos períodos anteriores as amostragens, foi aquele no qual ocorreram as menores concentrações de fósforo total e classificações em níveis de estado trófico inferiores para a quase totalidade dos modelos e índices utilizados para todos os pontos situados no reservatório.

A classificação para o reservatório, segundo o modelo de Salas e Martino (1991), no qual considera a carga afluyente de fósforo total ao reservatório (Ponto 1), correspondeu a mesotrófica, para o período com maior concentração de fósforo total (outubro de 2008, abril, junho e agosto de 2009) e oligotrófico em dezembro de 2008 e fevereiro de 2009.

O gráfico de distribuição de probabilidades de níveis tróficos de Salas e Martino (1991) indicou mesotrofia para as campanhas correspondentes às maiores concentrações de fósforo (dezembro de 2008 nos pontos 2, 5 e 6 com precipitação de 244,5 mm; outubro de 2008 no ponto 6), vazões no dia da amostragem e precipitações nos 7 e 15 dias anteriores à amostragem, em todos os pontos (2, 5 e 6), dezembro de 2008. Os outros dez momentos foram classificados como ultraoligotróficos e os outros quatro como oligotróficos.

O IET de Carlson (1977) classificou os pontos no interior do reservatório como eutrófico nos meses de outubro e dezembro de 2008, e fevereiro e abril de 2009, como mesotrófico no mês de junho de 2009, no mês de agosto de 2009 foi oligotrófico.

Lamparelli (2004) classificou o reservatório como mesotrófico nos Pontos 5 e 6 em outubro e dezembro de 2008, meses que apresentaram maiores concentrações de fósforo e precipitações pluviométricas. Quando se analisa a transparência da água é importante considerar que existem lagos onde a limitação da transparência se dá pela presença de material abiótico em suspensão (por exemplo, argila e silte), nestes casos o cálculo do IET para o

disco de Secchi pode fornecer informações imprecisas (SCHAFER, 1985 *apud* XAVIER, 2005).

O modelo da OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004), os IETs de Lamparelli (2004) e Carlson (1977) apresentaram comportamentos semelhantes relativos às classificações segundo a variação das concentração de fósforo total e clorofila *a*. Nos meses de outubro e dezembro de 2008 a concentração de fósforo total está maior e o nível de trofia também, a concentração de clorofila *a* está menor e a classificação trófica também. Nas campanhas seguintes há uma tendência na diminuição da concentração de fósforo total e aumento da concentração de clorofila *a*. Este fato pode ser explicado pelo consumo de fósforo total pelas algas e sua conseqüente multiplicação.

O modelo de probabilidades de Salas e Martino (1991) por considerar apenas uma variável (fósforo total) pode estar subestimando o nível trófico do reservatório. Outro fator que pode interferir nos resultados é a escassez de dados devido às poucas campanhas de monitoramento. Santos e Florêncio (2001) consideraram os modelos de Salas e Martino (2001) adequados na indicação de estado trófico do reservatório de Duas Unas, Pernambuco. Segundo os autores, a curva de distribuição probabilística mostrou-se uma boa ferramenta na determinação da probabilidade do reservatório apresentar um determinado estado trófico. Os autores afirmaram que a curva demonstrou grande coerência, quando comparada com o modelo simplificado.

Como o IET de Carlson foi desenvolvido considerando ambientes temperados, os resultados podem ter sido superestimados como em outras trabalhos realizados em ambientes tropicais. Outros pesquisadores (SALAS E MARTINO, 1991; SILVA, 1998; SANTOS E FLORÊNCIO, 2001; LAMPARELLI, 2004) verificaram que modelos de ambientes de clima temperado costumam superestimar o nível trófico do ambiente lântico localizado em ambiente tropical, necessitando uma adequação do modelo. Deve-se considerar que ambientes tropicais, devido a maiores temperaturas, apresentam maior capacidade de assimilação de fósforo que os temperados, e os padrões de circulação são fundamentais neste caso, uma vez que lagos e reservatórios tropicais apresentam perdas significativas de fósforo para o sedimento via precipitação de fosfato férrico (SANTOS E FLORÊNCIO, 2001).

Hennemann e Petrucio, (2010) utilizaram o Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), o índice da OCDE (1982), o modelo de Salas e Martino (1991) e o IET de Toledo *et al.* (1983) para avaliar o estado de eutrofização da lagoa costeira Peri, localizada em Santa Catarina, Brasil. Segundo os autores, os índices de Carlson (1977) e o da OCDE (1982) superestimaram o nível trófico da lagoa em relação aos parâmetros fósforo total (mesotrófico, mesotrófico) e transparência (eutrófico, hipereutrófico), quando comparados com o índice probabilístico de Salas e Martino (1991) (PT - oligotrófico) e de Toledo *et al.* (1983) (PT - oligotrófico, Transparência - mesotrófico). Os autores se basearam na informação de superestimativa no fato de que as águas do corpo hídrico, após um tratamento simplificado, tornam-se potáveis. Afirmaram que a alta densidade de cianobactérias *C. raciborskii* foi a causa dos altos valores de clorofila *a* e da baixa transparência, e do fato da lagoa ter sido classificada como eutrófica, em relação a esses parâmetros pelos índices de Carlson (1977), da OCDE (1982) e de Toledo *et al.* (1983). Indicaram, ainda, que isto ocorreu pois regiões tropicais apresentam altas taxas de reciclagem, que conduzem a grande produtividade fitoplanctônica.

O IET de Lamparelli (2004) foi desenvolvido a partir de dados de reservatórios e rios de São Paulo e engloba dois parâmetros importantes no surgimento de algas e plantas aquáticas, fósforo total e clorofila *a*, enquanto que o de Salas e Martino (1991) considera a carga afluyente de fósforo total. Considerando que os municípios próximos ao reservatório são em sua maioria rurais, pequena parte de população possui acesso à coleta e tratamento de esgotos, além do reservatório apresentar florações de cianobactérias, a classificação mesotrófica está mais próxima da realidade. Estudos realizados por Rubim (2006) mostraram que o reservatório de Rio Bonito apresenta florações, necessitando de monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

5.5 Índice Morfoedáfico - MEI

A concentração de fósforo total no reservatório de Rio Bonito proveniente apenas de fontes naturais foi estimada por meio do índice morfoedáfico (MEI). A relação fósforo – MEI permite uma estimativa da percentagem de fósforo que chega a montante do reservatório. Esta estimativa serve como indicativo da redução de aporte de fósforo ao reservatório necessária para que se alcance diferentes níveis tróficos.

A Tabela 57 apresenta comparação entre as concentrações médias de fósforo provenientes de fontes antropogênicas e naturais (PT real) e de apenas fontes naturais (PT natural) e as estimativas das percentagens de redução de aporte necessária para que as águas do reservatório se apresentassem em condições correspondentes à classe mesotrófica, considerando os resultados das campanhas de monitoramento realizadas. As condutividades apresentadas na referida Tabela correspondem aos resultados das medições realizadas no ponto 1, no rio Santa Maria da Vitória, nas diferentes campanhas.

Tabela 57 - Estimativas de percentagens de redução de aporte de fósforo ao reservatório de Rio Bonito

Mês / Ano	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/m}$)	MEIcond (μS)	PT(real)(mg/L)	PT(natural)(mg/L)	Redução (%)
Out/08	4900	793,92	0,0925	0,0341	63,11
Dez/08	6000	972,14	0,0203	0,0360	-
Fev/09	5100	826,32	0,0187	0,0345	-
Abr/09	5300	858,73	0,099	0,0348	64,80
Jun/09	6100	988,34	0,053	0,0362	31,71
Ago/09	4620	748,55	0,068	0,0336	50,62
Média	5336	864,67	0,0586	0,0349	40,47

A partir dos resultados apresentados na Tabela 57 pode ser observado que, caso se considerasse a média das condutividades elétricas registradas nas 6 (seis) campanhas, seria necessária redução de aproximadamente 40,47% nos aportes de fósforo ao reservatório durante o ano hidrológico 2008/2009 para que ele se mantivesse mesotrófico.

Caso se considerasse apenas as condições relativas à campanha realizada em abril de 2009, a estimativa de redução de aporte aumentaria para 64,80%.

Apenas nos casos das campanhas realizadas em dezembro de 2008 e fevereiro de 2009, os resultados indicariam que não seria necessária redução do aporte.

5.6 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Apenas com a finalidade de conhecimento da variação da qualidade de água em diferentes anos hidrológicos, são apresentados, a seguir, resultados de monitoramento realizado entre dezembro de 2002 e abril de 2008, pelo GEARH/UFES.

Os dados de pluviometria, IQA a montante (*Datum* WGS84, 7.782.147,8 / 317.228,9) e dentro do reservatório de Rio Bonito (*Datum* WGS84, 7.781.291,0 / 327.523,0) de dezembro de 2002 até abril de 2008, apresentados na Tabela 58, foram organizados em gráficos (Figuras 29 e 30). As tabelas nos Anexos III apresentam os valores dos parâmetros que foram utilizados no cálculo do IQA.

Tabela 58 - Dados de IQA a montante e dentro do reservatório de Rio Bonito e de pluviometria (continua)

Data	Montante IQA	Reservatório IQA	Pluviometria (mm)
dez/02	36	65	273,4
jan/03	71	70	323,5
fev/03	57	68	8,3
mar/03	54	65	76,6
abr/03	35	71	102,7
mai/03	53	83	19,2
jun/03	54	83	0
jul/03	61	74	25,5
ago/03	58	86	17,4
set/03	65	84	10,5
out/03	69	71	13
nov/03	63	86	71,7
dez/03	55	64	207,7
jan/04	52	58	276,5
fev/04	51	63	198
mar/04	48	77	255

Tabela 58 - Dados de IQA a montante e dentro do reservatório de Rio Bonito e de pluviometria (conclusão)

Data	Montante IQA	Reservatório IQA	Pluviometria (mm)
abr/04	48	73	131,8
mai/04	64	85	10,6
jun/04	71	81	111,1
jul/04	65	88	29,3
ago/04	64	93	22,7
set/04	72	86	18,3
out/04	53	83	77,1
nov/04	69	69	117,6
dez/04	76	67	225,6
jan/05	48	79	246,4
fev/05	59	77	503,8
mar/05	71	77	173,1
abr/05	68	85	79,9
mai/05	63	85	182,4
jun/05	68	85	119,9
jul/05	73	89	30
ago/05	58	74	18,3
set/05	64	74	77,2
out/05	64	76	28,6
nov/05	59	78	207,8
dez/05	64	84	303,4
jan/06	59	66	62,9
fev/06	61	61	32,1
mar/06	58	69	245,3
abr/06	49	80	40
mai/06	81	89	5,8
jun/06	68	76	19,8
jul/06	64	68	14,6
ago/06	70	68	50
set/06	72	84	43,9
out/06	57	69	159,7
nov/06	64	75	243,5
dez/06	64	70	201,8
jan/07	62	84	142,2
fev/07	63	73	149,9
mar/07	63	72	16,9
abr/07	65	84	56,9
mai/07	65	75	53,7
jun/07	69	87	9,4
jul/07	65	83	2,1
ago/07	72	93	11,1
set/07	68	88	32,3
out/07	77	82	48,7
nov/07	66	69	79,2
dez/07	65	71	131,8
jan/08	69	90	58,1
fev/08	65	86	145,2
mar/08	53	80	174,8
abr/08	71	72	55,1

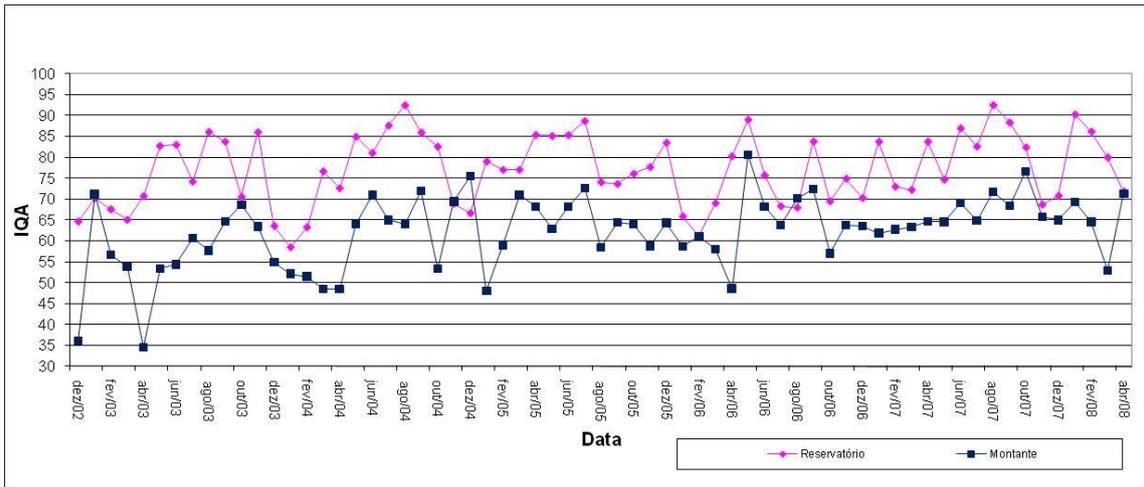


Figura 29- IQA dentro e a montante do reservatório de Rio Bonito

Na Figura 29 constata-se melhores valores de IQAs em pontos situados dentro do reservatório do que os registrados a montante do mesmo. Isso pode ser devido à autodepuração que ocorre nesse ambiente lântico, onde é propícia a ciclagem de nutrientes provenientes de aporte natural, poluição difusa e pontual (ESTEVEZ, 1998).

Cabe observar que a classificação a partir do IQA se refere ao uso para abastecimento público após tratamento convencional.

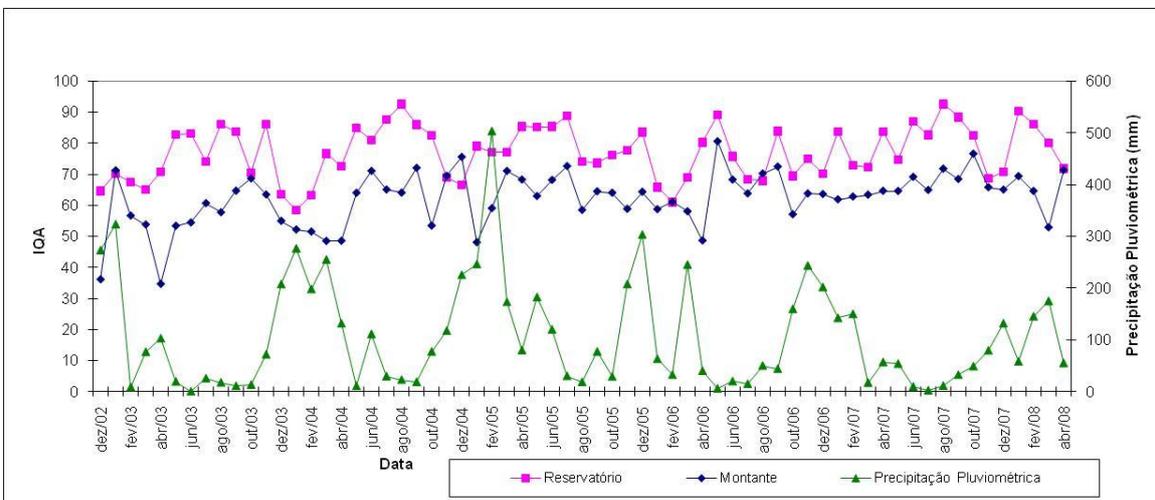


Figura 30 - IQA a montante e dentro do reservatório de Rio Bonito e precipitação pluviométrica

Pode ser observado na Tabela 58 e na Figura 30 que períodos com maiores pluviosidades (outubro a março) resultaram em menores IQA's.

Os menores índices para períodos chuvosos estão relacionados principalmente com os parâmetros turbidez e sólidos totais, altamente influenciados pelo transporte de sedimentos na bacia do reservatório.

6 CONCLUSÕES

Os resultados de classificação de estado trófico do reservatório de Rio Bonito, através de diferentes modelos matemáticos e Índices de Estado Trófico, considerando os monitoramentos em pontos situados no interior, a montante e a jusante do mesmo, para o ano hidrológico entre outubro de 2008 e setembro de 2009, indicaram diferentes níveis de trofia. Desta forma, é de grande importância a escolha de modelos e índices adequados às condições dos corpos hídricos de interesse. O modelo que foi mais rigoroso na classificação foi o IET de Carlson (1977), indicando para os diversos pontos classes entre mesotrófica e eutrófica. O modelo de probabilidades de Salas e Martino (1991) foi o menos rigoroso, correspondendo, para a maioria dos casos classificação ultraoligotrófica.

A classificação de estado trófico, segundo os diversos modelos e índices, considerando os resultados de cada campanha de monitoramento, variou muito significativamente, em função da estação do ano e das precipitações pluviométricas nos dias anteriores.

Considerando que o IET modificado por Lamparelli baseou-se em rios e reservatórios localizados no Brasil, país de clima tropical, e que a CETESB o possui como referência, esse seria um bom modelo para se avaliar o nível trófico de um corpo hídrico brasileiro, apesar dos resultados avaliados nesse estudo não apontarem um modelo ideal para esse tipo de ambiente.

A passagem das águas do rio Santa Maria da Vitória pelo reservatório de Rio Bonito acarreta melhoria para diversos parâmetros qualitativos, indicando que o corpo d'água está funcionando como uma lagoa de estabilização de efluentes. Diversos parâmetros de qualidade de água, monitorados no interior, a montante e a jusante do reservatório, se apresentaram fora dos respectivos limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005.

A aplicação do índice Morfoedáfico (MEI) indicou que as cargas de nutrientes que chegam ao reservatório de Rio Bonito são significativamente superiores às máximas que permitiriam a manutenção de condições mesotróficas no corpo d'água.

7 RECOMENDAÇÕES

Continuidade do monitoramento e da aplicação dos modelos e índices utilizados com finalidade de verificação da variação de classificações de estados tróficos em função das variações das cargas de efluentes e das precipitações pluviométricas na bacia do reservatório.

Análise, a longo prazo, dos modelos e índices mais adequados para classificação do estado trófico do reservatório de Rio Bonito.

Monitoramento de qualidade de água nas captações de água situadas a jusante do reservatório que inclua parâmetros relacionados com nutrientes e cianobactérias e formação de cianotoxinas.

Ampliação da cobertura do município de Santa Maria de Jetibá por coleta e tratamento de esgotos sanitários, sendo adotadas estações de tratamento altamente eficientes na remoção de nutrientes para efluentes que se dirijam para o reservatório de Rio Bonito.

Controle de fontes difusas de nutrientes na bacia do reservatório de Rio Bonito e adoção de medidas para redução da erosão do solo.

8 REFERÊNCIAS

- 1 BARCELLOS, I. F. **Partição do fósforo (P) em sedimento de solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho**. 2006. Dissertação (Mestrado agricultura tropical e subtropical) - Instituto Agronômico, São Paulo, 2006.
- 2 BEM, C. C. **Determinação do estado de eutrofização de um lago raso: Estudo de caso do lago Barigui – Cutitiba**. 2009. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2009.
- 3 BEZERRA – NETO, J. F. e PINTO - COELHO, R. M. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.24, n. 2, p. 285 – 290, 2002.
- 4 BOLLMANN, H. A. e FREIRE, S. M. Avaliação da carga de macronutrientes orgânicos no reservatório do Rio Iraí, Região Metropolitana de Curitiba/PR, a partir dos seus tributários principais. In: IV Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu. 2003, Curitiba, Paraná. **Anais Eletrônicos: IV Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu**. Disponível em:
<http://www.sanepar.com.br/sanepar/gecip/Congressos_Seminarios/Eutrofizacao/art002.pdf>
- 5 BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**, Brasília, março, 2004.
- 6 BORGES, J. T. **Avaliação do estado trófico e sanitário e a adsorção de fósforo no sedimento da lagoa do Taquaral – Campinas – São**

- Paulo**.1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1998.
- 7 BREZONIC, 1984 P.L. 1984. **Trophic state indices: Rational for multivariate approaches**. Lake and Reservoir Management. EPA 440/5-84-001. USEPA, Washington, DC. 441–445 p.1984.
 - 8 CAIADO, M. A. C. **Modeling fate and transport of nitrogen and phosphorus in crop fields under tropical conditions**.2005.231f.Tese (Doutorado em Biological Systems Engineering), Universidade Politécnica da Virgínia, Virginia, 2005.
 - 9 CARLSON, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, **22**: 361-80,1977.
 - 10 CETESB. **IET – Índice do Estado Trófico**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf> Acesso em : 10 de fev. 2011.
 - 11 CHORUS, I. e BARTRAM, J. **Toxic Cyanobacteria in Water – A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management**. E & FN Spon: London and New York, 1999.
 - 12 CLARK, J. W., VIESSMAN Jr., W., HAMMER, M. J. Water Supply and Pollution Control. 3^a ed. **USA: Harper & Row**, Publishers. 857 p. 1977.
 - 13 CSMJ. Consorcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. Diagnostico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. 1995. **Volume I – Ecossistemas aquáticos interiores e recursos hídricos**. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitaria e Ambiental, 1997.
 - 14 CSMJ. Consorcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. Diagnostico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. 1995. **Volume II – Clima, Geologia, Relevo e Solos**. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitaria e Ambiental, 1997.
 - 15 CSMJ. Consorcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. Diagnostico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa

- Maria da Vitoria e Jucu. 1995. **Volume III – Biodiversidade, Região Estuarina e Espaços Territoriais Protegidos**. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitaria e Ambiental, 1997.
- 16 CSMJ. Consorcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu. Diagnostico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitoria e Jucu.1995. **Volume IV – Estrutura Econômica e Organização Sócio-Cultural e Política**. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitaria e Ambiental, 1997.
- 17 CURTI, J. M. C. **Monitoramento limnológico e da qualidade da água da área de influência da PCH Rio Bonito. Relatório Técnico Final referente ao período entre outubro de 2008 e agosto de 2009 CONDICIONANTE Nº10 DA LICENÇA DE OPERAÇÃO Nº 249/2006**.2009.
- 18 EPA - United States Environmental Agency. **Nutrient Criteria Technical Guidance Manual - Lakes and Reservoirs**. 1ª Edição EPA-822-B00-001. 2000.
- 19 ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Interciencia / FINEP, 575 p.,1998.
- 20 FERNANDES, V. O. *et al.* Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): Um ecossistema com potencial de floração de cianobactérias? **Periódico: Oecologia Brasiliensis**. Vol.13(2): p.366-381, 2009.
- 21 FERNANDES,V. O. *et al.* **Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do espírito santo (reservatório duas bocas – Cariacica – ES)**. Brasília: Funasa, 82 p. 2007.
- 22 FERNÁNDEZ, C., PARODI, E. R. e CÁCERES, E. J. Phytoplankton structure and diversity in the eutrophic-hypereutrophic reservoir Paso de las Piedras, Argentina. **Limnology**. DOI 10.1007/s10201-011-0347-3. 2011.
- 23 FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C. e RAMIREZ, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista**

- Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, Ed 9, V. 4, n.1, p. 132 – 141, 2009.
- 24 FONSECA, A. R. **Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências – Saúde Pública). Escola Nacional de saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, p. 189, 2008.
- 25 FREIRE, S. M. e BOLLMANN, H. A. **Relação entre a densidade populacional e a carga orgânica afluyente ao reservatório do Irai**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2005. **Anais eletrônicos: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-101.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2009.
- 26 GALVEZ - CLOUTIER, R. e SANCHEZ, M. Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendation **Water Qual. Res. J. Canada**, Volume 42, No. 4, 252-268. 2007.
- 27 GARCIA, C. Z.; GARCIA, D. C. O. e LEITE M. A. **Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira**. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais, 2007. **Anais eletrônicos: VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais**. Disponível em:
< www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/1886.pdf> Acesso em: 10 jan. de 2010.
- 28 GOMES, D. P. P.; BARROS, F. M.; BARRETO, L. V.; ROSA, R. C. C. e TAGLIAFERRI, C. Avaliação do estado trófico para o rio Catolé-BA em diferentes épocas do ano. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; p. 1-6. 2010.
- 29 GUALBERTO, F. F. **Otimização de processos de precipitação química na remoção de fósforo de esgotos sanitários mediante a utilização de saia de ferro como coagulante**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Hidráulica e Sanitária) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 143, 2009.

- 30 GULATI, L. M. e DONK, E. V. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. **Hydrobiologia**, V.478, p.73–106, 2002.
- 31 GUNKEL, G. Limnology of an Equatorial High Mountain Lake in Ecuador, Lago San Pablo. **Limnologica**, V.30, p.113-120, 2000.
- 32 HAMESTER, A.; PETRY, A.T. e MARQUES, D. da M. **Efeito potencial do gradiente trófico em cascata de reservatórios urbanos na formação de trihalometanos.**In: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2005.
- 33 HAANDE, S.; ROHRLACK, A.; SEMYALO, R. P.; BRETTUM, P.; EDVARDBSEN, B.; LYCHE-SOLHEIM. A.; SORENSEN, K. e LARSSON, P. Phytoplankton dynamics and cyanobacterial dominance in Murchison Bay of Lake Victoria (Uganda) in relation to environmental conditions. **Limnologica**, v. 41, p. 20–29, 2011.
- 34 HENNEMANN, M.C. e PETRUCIO, M. M.Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. **Environ Monit Assess.** DOI 10.1007/s10661-010-1833-5. 2010.
- 35 HIDROWEB. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em : 02 de abril de 2010.
- 36 JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3ªEd. Rio de Janeiro. ABES. 720p.1995.
- 37 KIM, B.; PARK, J; JUN, G. H. M. e CHOI, K. Eutrophication of reservoirs in South Korea.**Limnology**, V. 2, p.223–229, 2001.
- 38 KRATZER, C. R. e BREZONICK, P. L. A. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. **Water Res. Bull.**, v.17, p.713-714. 1981.
- 39 LAMPARELLI, M. C. 2004. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento – São Paulo – Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências – USP.** 238p. 2004.

- 40 LEAL, P. R. **Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: Lagoa Jacuném (Serra, ES)**. Monografia (Graduação em Oceanografia) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2006.
- 41 LV, J.; WUN, H. e CHEN M. Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. **Limnologica**, v. 41, p. 48–56, 2011.
- 42 MACHADO, F. R. **Remoção de fósforo na unidade de flotação da estação de tratamento de esgoto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química- Desenvolvimento de Processos Químicos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 2007.
- 43 MARSHALL, B. E. e FALCONER, A. C. Eutrophication of a Tropical African Impoundment. **Hydrobiologia**, v. 45, p. 109-123, 1973.
- 44 MIAO L., YUE-JIN W., ZENG-LIANG Y., GUO-PING S. e HAN-QING Y. Enhanced nitrogen and phosphorus removal from eutrophic lake water by *Ipomoea aquatica* with low-energy ion implantation. **Water Research**. Vol. 43 p. 1247 – 1256. 2009.
- 45 MITRAKI, C.; CRISMAN, T. L. e ZALIDIS. Lake Koronia, Greece: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. **Limnologica**, V. 34, p.110-116, 2004.
- 46 MOSCHINI-CARLOS , V. ; PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T. e POMPEO, M. L. M. **Qualidade da água do reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba - SP), gradiente espacial vertical**. In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais.2007.
- 47 MOSCA, V. P. **Eutrofização do Reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte: implicações para o abastecimento público e para a piscicultura intensiva em tanques-rede**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.
- 48 MURTHY, G. P.; SHIVALINGAIAH; LEELAJA, B. C. e HOSMANI, P. S. **Trophic State Index in Conservation of Lake Ecosystems**. In:

- Proceeding of Taal 2007, 12^a World Lake Conference. P. 840 -843. 2008.
- 49 NYENJE, P. M., FOPPEN, J. W., UHLENBROOK, S., KULABAKO, R., e MUWANGA, A. Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa - A review. **Science of the Total Environment**, V. 408, N.3, p.447-455. 2010.
- 50 O.E.C.D. **Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control**. O.E.C.D. Paris. 154 p.1982.
- 51 PAULIC M., HAND J., e LORD L. **Water-quality Assessment for the State of Florida Section 305(b) Main Report**. Florida Department of Environmental Protection. December 1996.
- 52 PÁEZ, R.; RUIZ, G.; MÁRQUEZ, R.; SOTO, M. S.; MONTIEL, M. e LOPEZ, C. Limnological Studies on a Shallow Reservoir in Western Venezuela (Tulé Reservoir). **Limnologica**, V.31, p. 139-145, 2001.
- 53 PEREIRA, K. C. Comparação entre dois Índices de Estado Trófico para as UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho da bacia hidrográfica do médio rio Grande – MG. In: IX Congresso de Ecologia do Brasil, 2009, São Lourenço, MG. **Anais eletrônicos: IX Congresso de Ecologia do Brasil**. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/2009/resumos_ixceb/2010.pdf> Acesso em: 23 mar. 2011.
- 54 PESSANHA, R. A; MARTINS, F. C. O E OLIVEIRA, M. D. **Avaliação qualitativa de cianobactérias perifíticas e fitoplanctônicas de um manancial de abastecimento público do Espírito Santo: Baixo rio Santa Maria da Vitória**.In: XII Congresso Brasileiro de Ficologia. 2008, Águas Claras, Brasília - DF. Livro de Resumos - Ecologia de algas e indicadores ambientais, p. 166-166. 2008.
- 55 PORTO, R. L. L. *et al.* **Hidrologia Ambiental**. 1^aEd. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol.3.411p.1991.

- 56 RAMIRÉZ, D. S.; MARTÍNEZ, G. A.; PANTOJA-AGREDA, F. e SANTOS, C. F. Limnological assessment of two reservoirs in Puerto Rico. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** V. 30, p. 521–527, 2008.
- 57 RASÕES, M. A. A. **Estudo sobre a precipitação química de fósforo como forma de remediação do estado trófico da Lagoa de Furnas, S. Miguel-Açores.** 2008. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Nova Lisboa. Lisboa, 2008.
- 58 REDFIELD, A. C.; KETCHUM, B. H.; RICHARDS, F. A. The influence of organisms on the composition of sea water. In: **The sea.** (ed). Hill, Interscience. New York, Lond., v. 2, p. 26-77.1963.
- 59 ROBERTSON, M. D.; GODDARD, G. L.; MERGENER, E.A.; ROSE, W. E. e GARRISON, P. J. **Hydrology and Water Quality of Geneva Lake, Walworth County, Wisconsin.** Water-Resources Investigations Report 02–4039. 2002.
- 60 RODRIGUES, G. H.; FELIZATTO, M. R.; STARLING, F. L. R. M. e PEREIRA, C. E. B. **Avaliação atual da qualidade da água do lago Paranoá, Brasília – DF.** In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2007.
- 61 RUBIM, K. T. **Comunidade fitoplanctônica e variáveis limnológicas no reservatório de Rio Bonito – Rio Santa Maria da Vitória (Santa Maria de Jetibá – ES).** 2006.126 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
- 62 RULEY, J.E e RUSCH K.A. Development of a simplified phosphorus management model for a shallow, subtropical, urban hypereutrophic lake. **Ecological Engineering**, v. 22, p.77–98, 2004.
- 63 SALAS, H. & MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, Vol. 25, Nº 3, pp. 341-350. 1991.
- 64 SANTOS, K. P. e FLORÊNCIO, L. **Aplicação de modelo simplificado para avaliação do estado trófico no reservatório de Duas Unas,**

- Pernambuco, Brasil.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa-PB. Saneamento Ambiental: Desafio para o século 21- Resumo de trabalhos técnicos. 2001.
- 65 SHIGAKI, F. **Transporte de fósforo na enxurrada superficial em função do tipo de fonte de P e intensidade das chuvas: Relevância à gerência ambiental em sistemas de produção brasileiros.** 2006. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba, 2006.
- 66 SIGUA G. C.; WILLIAMS, M. J.; COLEMAN, S. W. E STARKS, R. Nitrogen and Phosphorus Status of Soils and Trophic State of Lakes Associated with Forage-Based Beef Cattle Operations in Florida. **J. Environ. Qual.** Vol 35, p. 240–252. 2006.
- 67 SILVA, L. H. & MENDONÇA, A. S. **Avaliação qualitativa da lagoa Jacuném, com ênfase em eutrofização.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, Foz do Iguaçu.1997.
- 68 SILVA, L. H. P. **Avaliação Qualitativa da Lagoa Jacuném, com Ênfase em Eutrofização.** Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental).1998.138 f. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,1998.
- 69 SILVA, L. H. & MENDONÇA, A. S. (2001). **Avaliação e planejamento de qualidade de água da lagoa Jacuném, com ênfase em eutrofização.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001.
- 70 SILVA, S. C.; NISHIMURA, P. Y.; POMPÊO, M. L. M. e MOSCHINI-CARLOS V. **Caracterização limnológica das águas superficiais do reservatório Billings (São Paulo – SP).** In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais.2007.
- 71 SODRÉ, S. S. V. **Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Petra, mananciais de Belém – Pará.** 2007. 115 f. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2007.
- 72 STARLING, F. L. do R. M. **Avaliação do estado trófico atual do lago Paranoá após estabilização do seu processo de oligotrofização.** In:

- Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, Santa Catarina. 2003.
- 73 SULI, A; BUSCARINU, P. e SECHI, G. M. Using reservoir trophic-state indexes in optimisation modelling of water-resource systems. **Environmental Modelling & Software**.Vol. 26, 731-738p. 2011.
- 74 TOLEDO A.P.; AGUDO, E.G.; TOLARICO,M.; CHINEZ, S.J. **A Aplicação de Modelos Simplificados para a Avaliação do Processo da Eutrofização em Lagos e Reservatórios Tropicais**; Anais do XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS, Santiago do Chile, 1984.
- 75 TUNDISI, J. G. **Água no século XXI. Enfrentando a escassez**.Ed. Rima IIE, 247p. 2003.
- 76 VEIGA, B. V. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos: investigação sobre o reservatório de Alagados no estado do Paraná**. 2010.114 f.Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- 77 VOLLENWEIDER, R. A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. **Mem. Ist. Ital. Idrobiol**, v. 33, p. 53-83. 1976.
- 78 VOLTERRA,L. E BOUALAM, M. **Eutrophication and health- European Commission**. 32 f. 2002.
- 79 VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol1. 3ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 452 p. 2005.
- 80 VON SPERLING, E. **Uso de relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, Setembro 2001.

- 81 XAVIER, C. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois Reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná.** 2005.167p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- 82 WANG, H. J.& H. Z. WANG., 2009. Mitigation of lake eutrophication: loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. **Progress in Natural Science**, V.19, N° 11, p. 1445-1451.

ANEXOS I

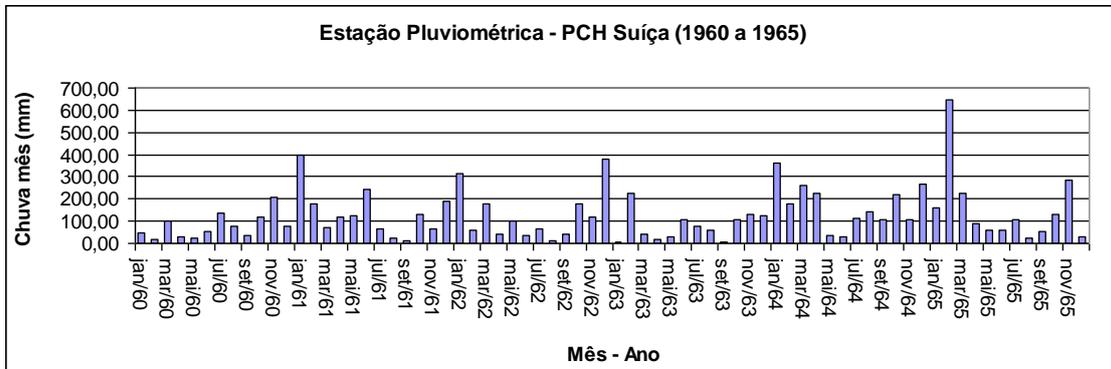


Figura 31 - Precipitações pluviométricas mensais (1960 – 1965)

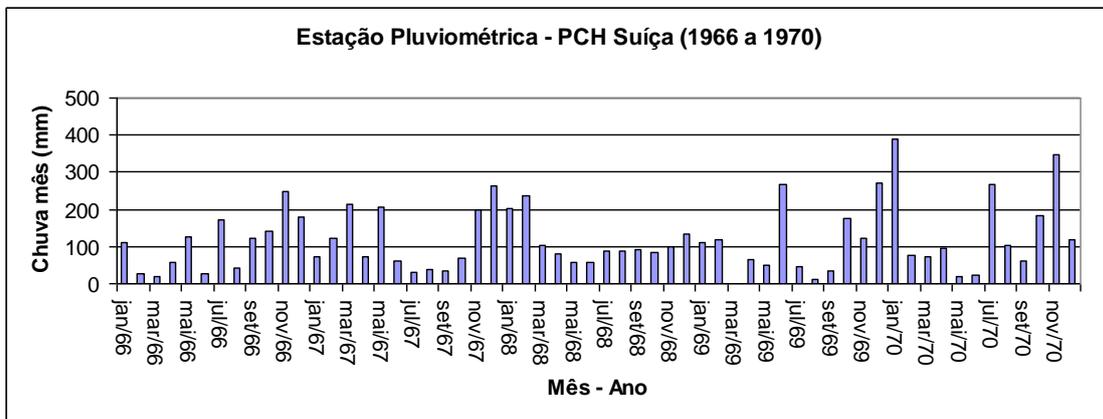


Figura 32 - Precipitações pluviométricas mensais (1966 – 1970)

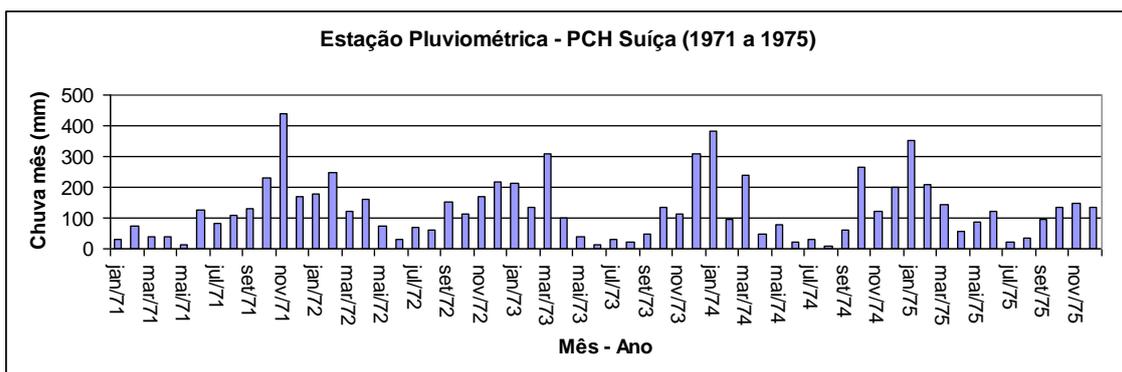


Figura 33 - Precipitações pluviométricas mensais (1971 – 1975)

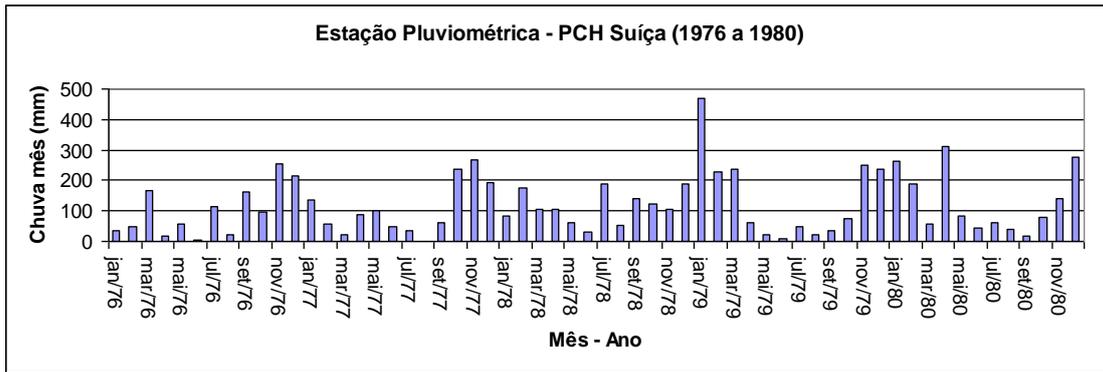


Figura 34 - Precipitações pluviométricas mensais (1976 – 1980)

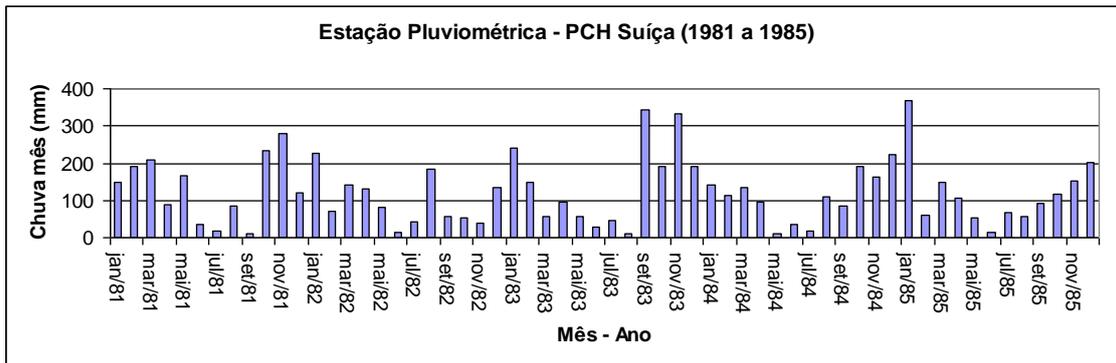


Figura 35 - Precipitações pluviométricas mensais (1981 – 1985)

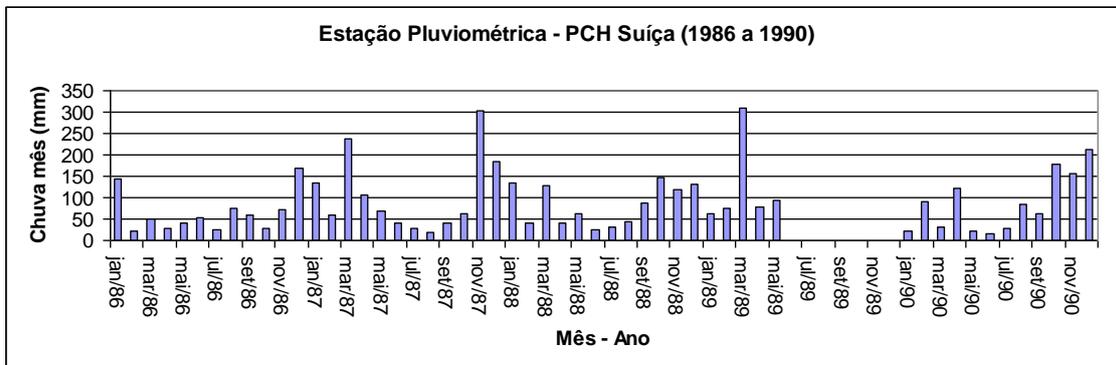


Figura 36 - Precipitações pluviométricas mensais (1986 – 1990)

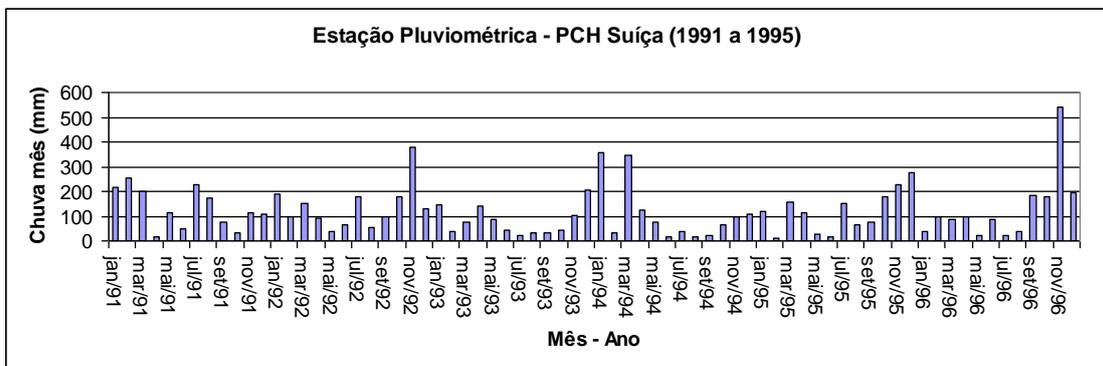


Figura 37 - Precipitações pluviométricas mensais (1991 – 1995)

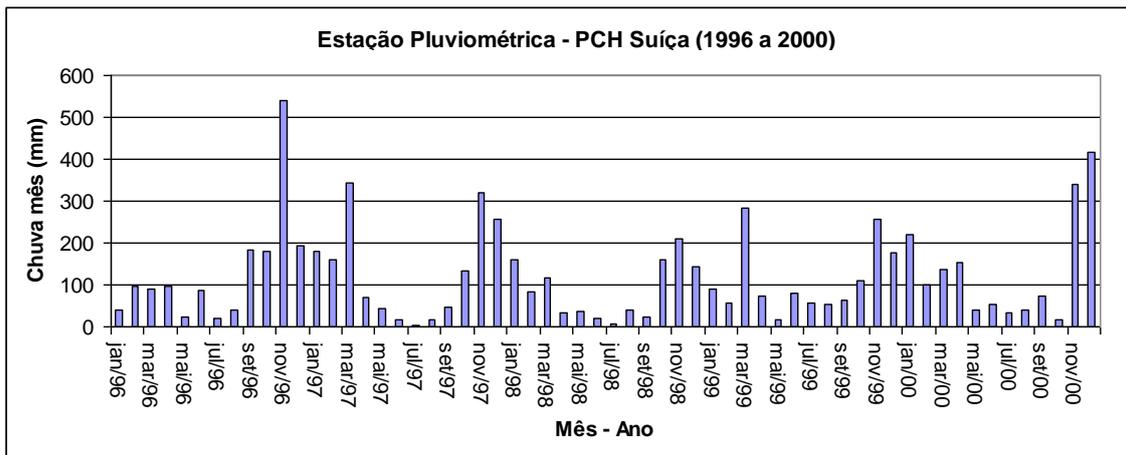


Figura 38 - Precipitações pluviométricas mensais (1996 – 2000)

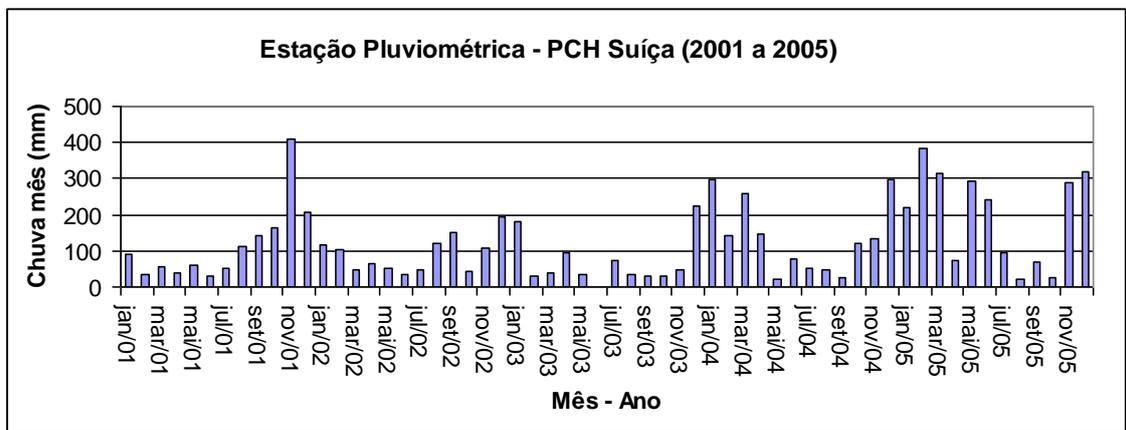


Figura 39 - Precipitações pluviométricas mensais (2001 – 2005)

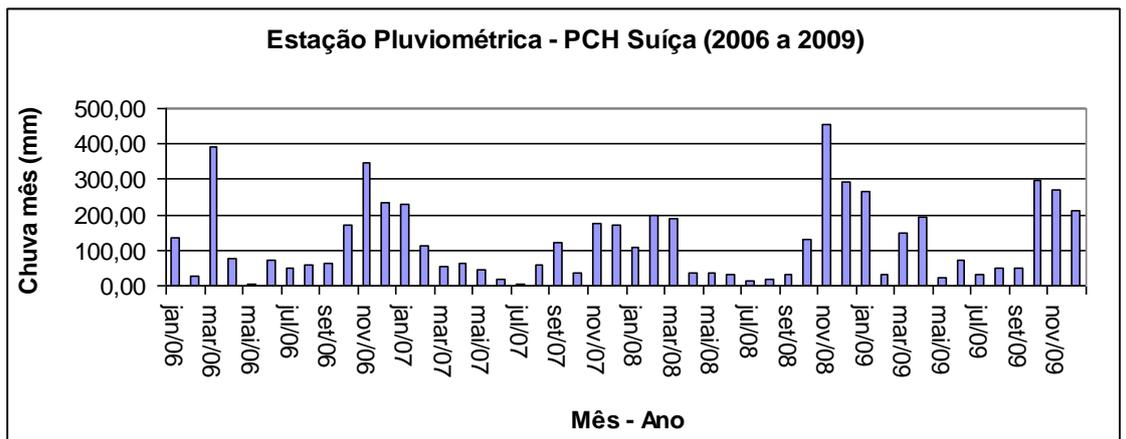


Figura 40 - Precipitações pluviométricas mensais (2006 – 2009)

ANEXOS II

DISTRIBUIÇÃO PROBABILÍSTICA DO ESTADO TRÓFICO BASEADA EM FÓSFORO TOTAL (SALAS E MARTINO, 1991)

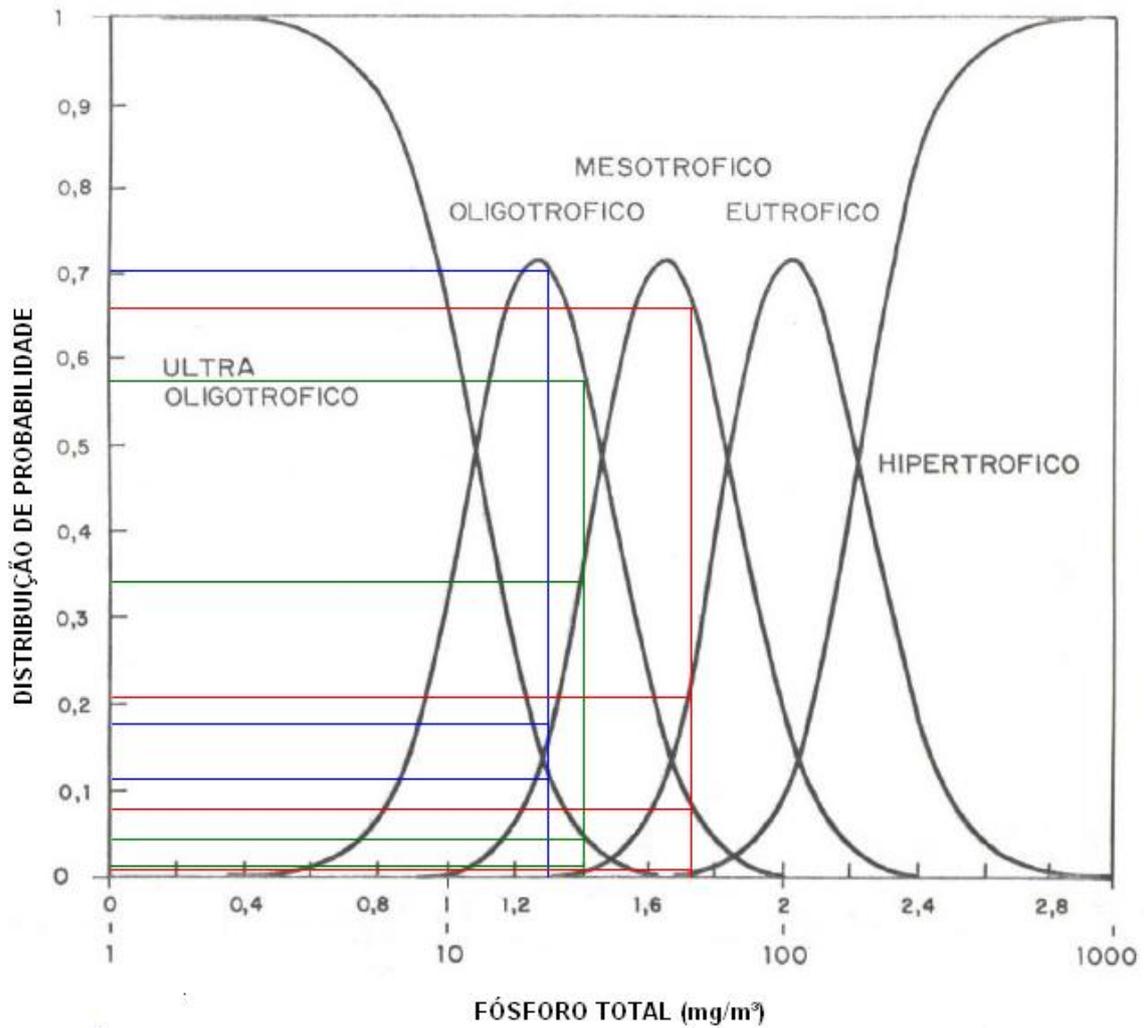


Figura 41 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de outubro de 2008. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho.

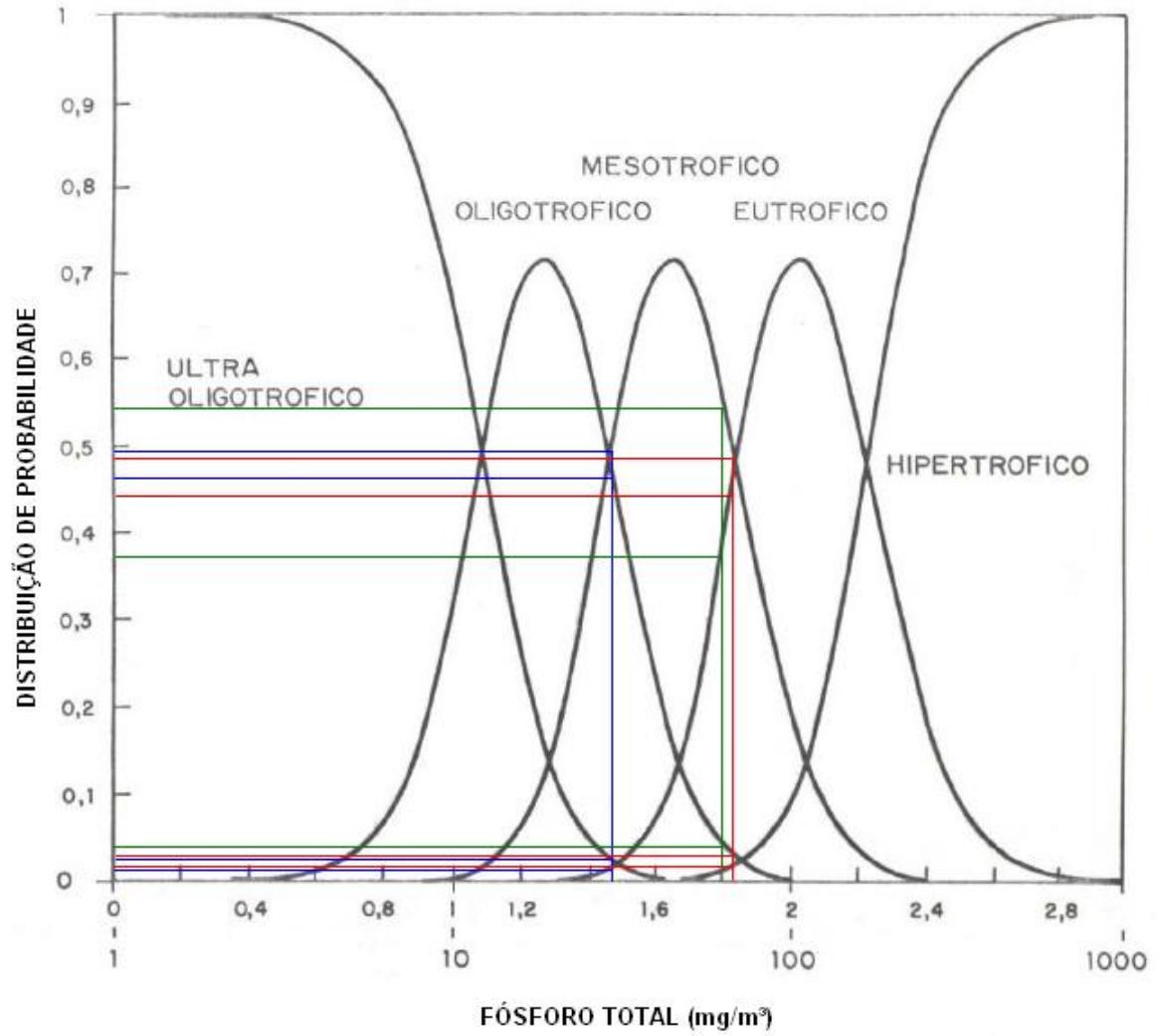


Figura 42 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de dezembro de 2008. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho

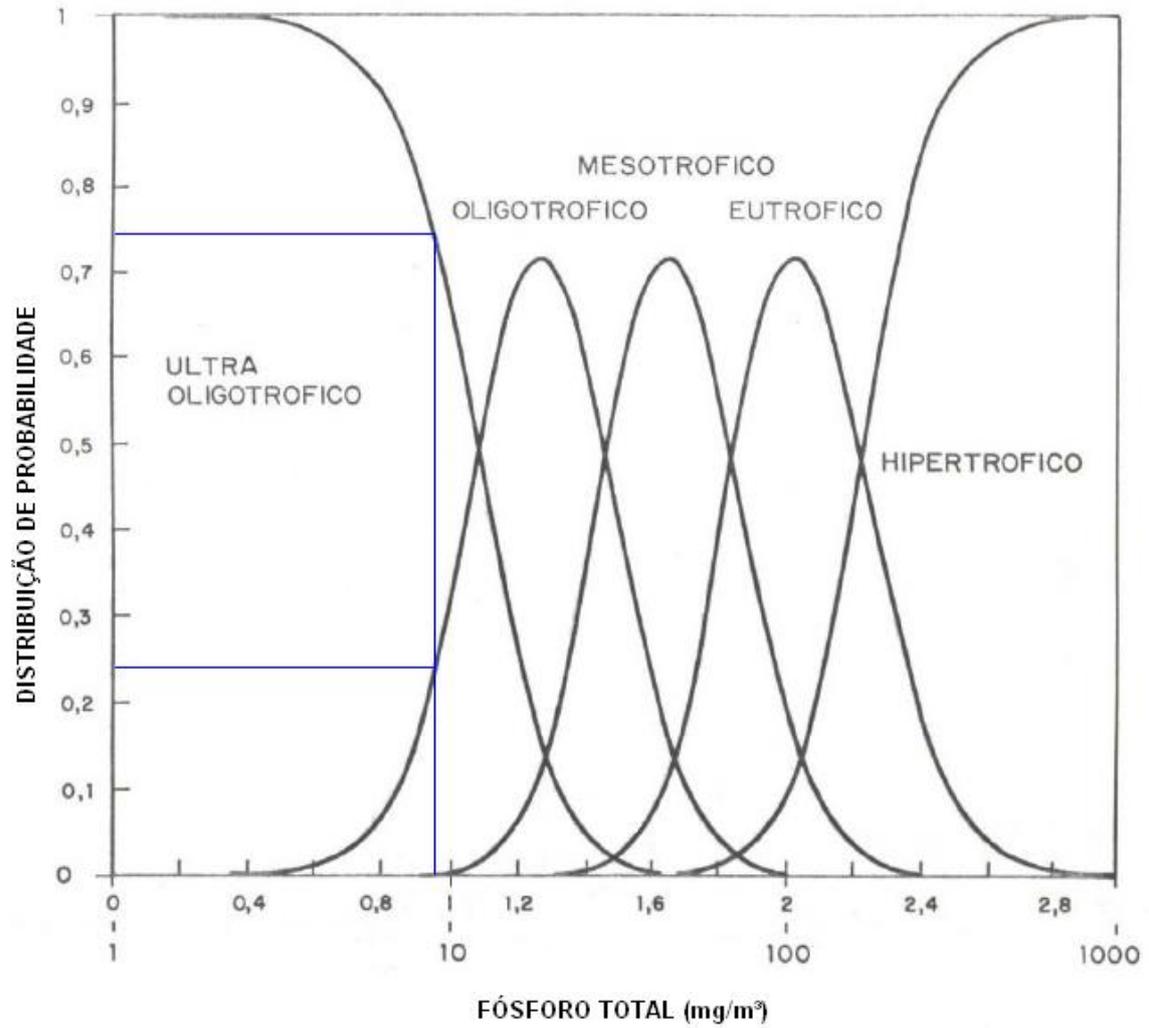


Figura 43 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de fevereiro de 2009. Ponto 2, 5 e 6 – azul

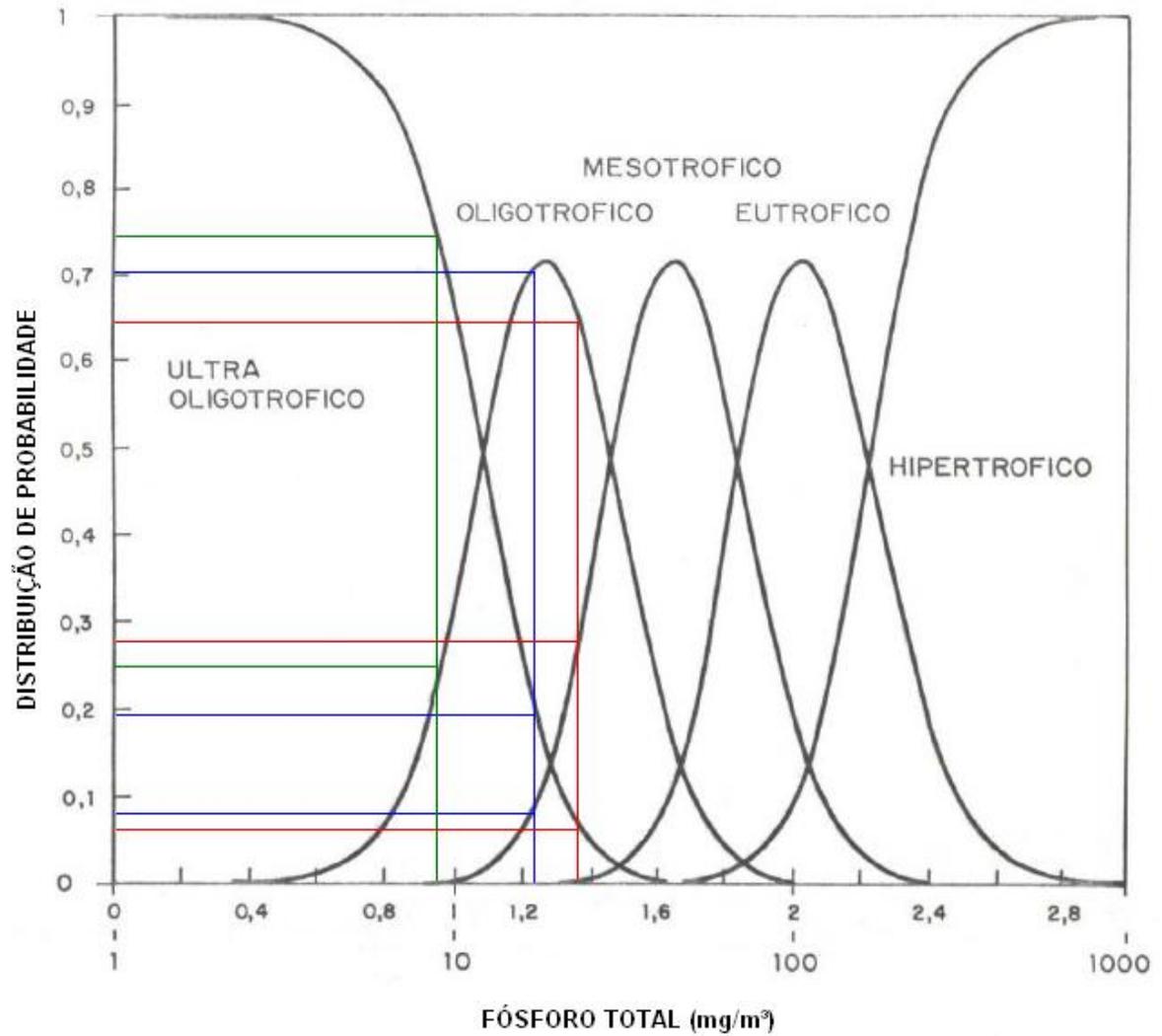


Figura 44 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de abril de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho

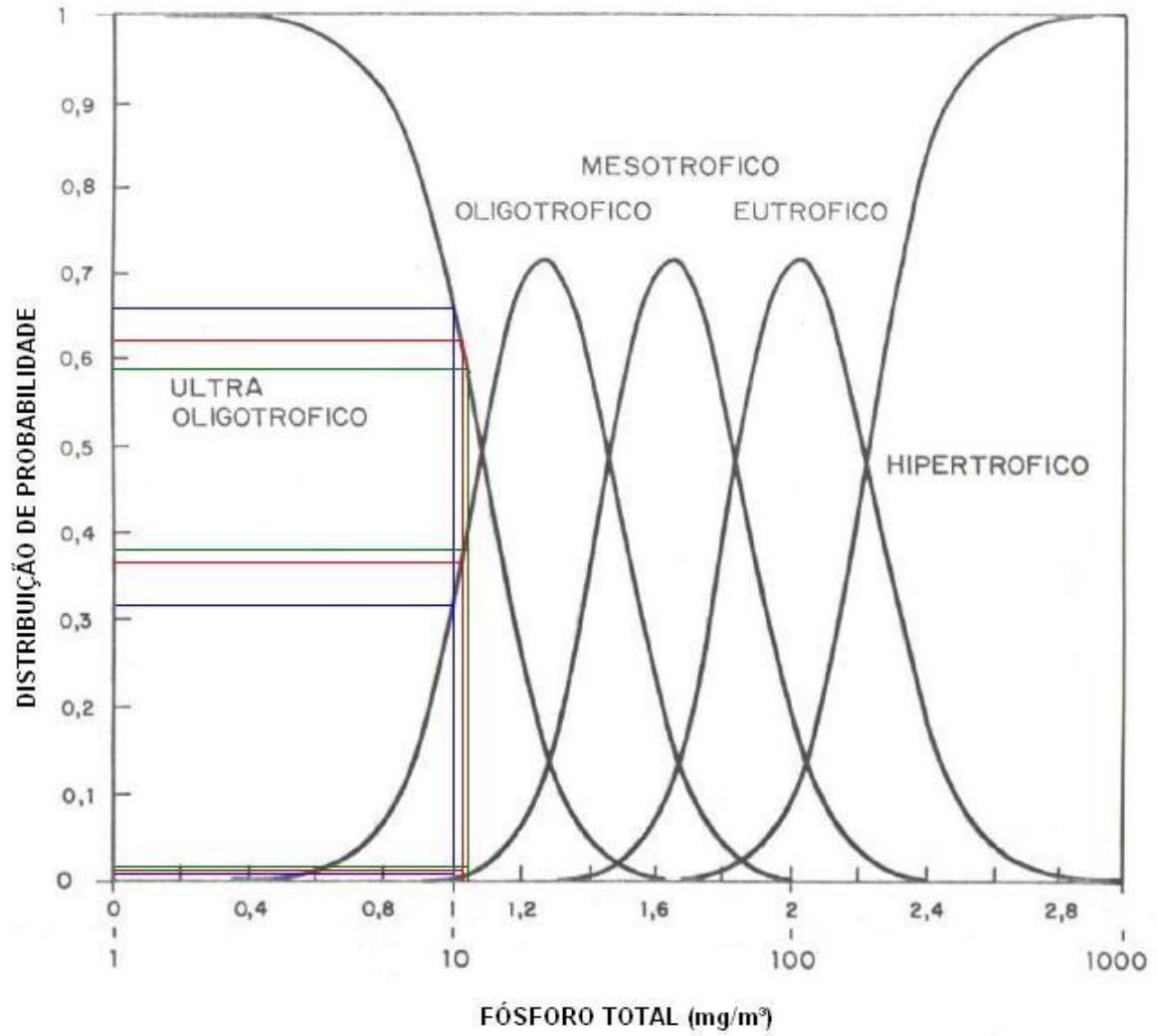


Figura 45 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de junho de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 5 – verde, Ponto 6 – vermelho

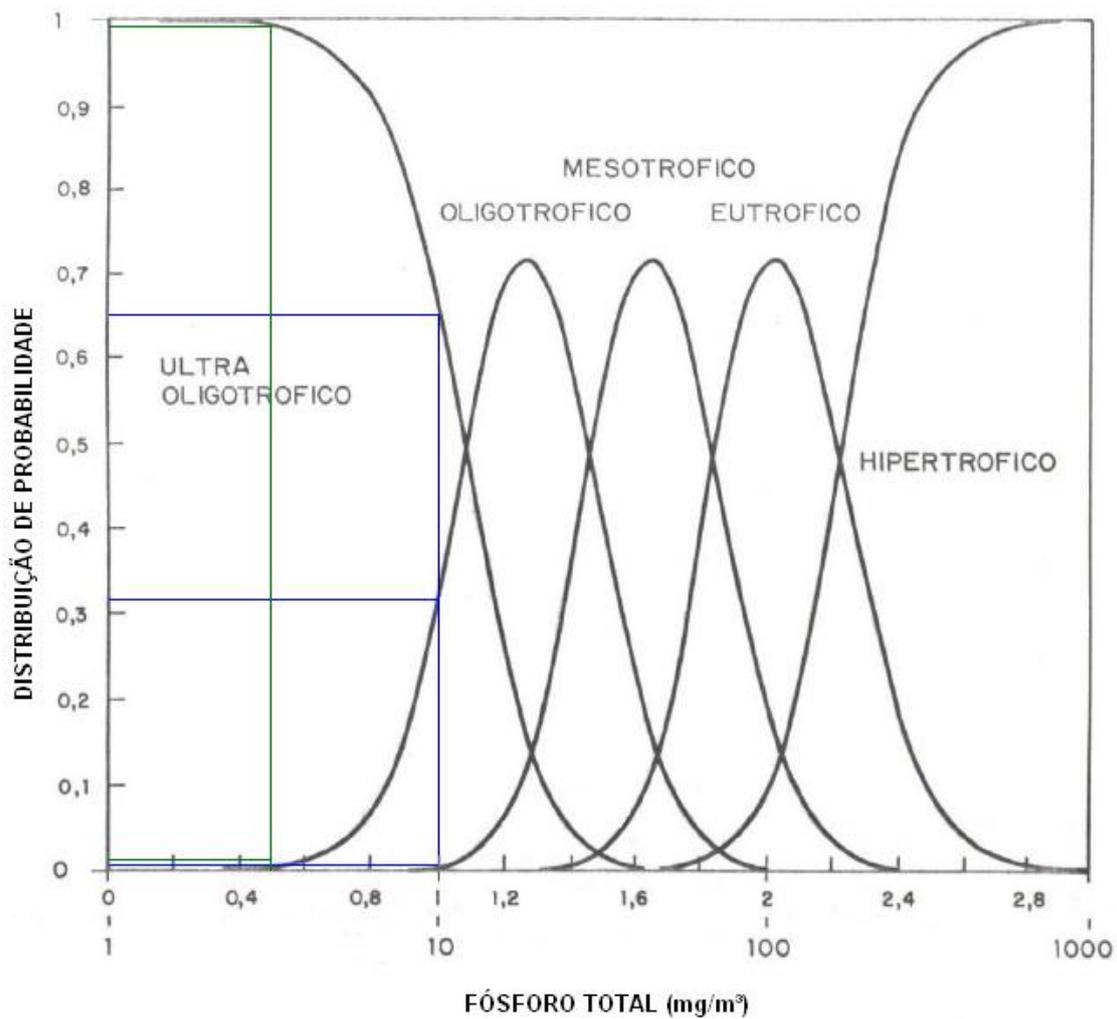


Figura 46 - Distribuição probabilística do estado trófico baseada em fósforo total no mês de agosto de 2009. Ponto 2 – azul, Ponto 6 – verde

ANEXOS III

Tabela 59 - Parâmetros a montante do reservatório de Rio Bonito para cálculo do IQA (continua)

Data	pH	OD (mg/l O ₂)	Condutividade Elétrica 24°C (μS/cm)	Sólidos Totais Suspensos (mg/l)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrato (mg/l)	Nitrato (mg/l)
dez-02	7,80	7,60	20,40	43,00	22,00	163,10	1,79	0,16
jan-03	7,74	6,80	19,60	93,00	109,00	10,00	0,91	0,01
fev-03	6,90	7,20	22,70	51,00	76,00	32,70	1,74	0,01
mar-03	6,79	7,23	18,60	41,00	67,00	77,90	0,84	0,01
abr-03	7,23	7,80	22,70	183,50	287,50	456,00	2,71	0,03
mai-03	6,92	8,80	16,90	13,00	33,00	29,30	0,59	0,01
jun-03	6,52	8,00	15,30	25,00	64,00	22,50	0,88	0,01
jul-03	6,72	8,90	12,60	11,00	80,50	15,30	0,87	0,01
ago-03	7,60	8,80	13,00	24,00	48,00	18,10	0,80	0,02
set-03	7,17	7,96	12,40	16,50	43,00	19,20	0,60	0,01
out-03	7,55	8,45	10,80	22,00	41,00	18,30	0,49	0,01
nov-03	7,42	7,86	28,00	12,50	30,50	23,00	0,47	0,01
dez-03	7,58	7,46	17,80	11,00	30,50	29,40	0,50	0,01
jan-04	7,46	7,06	22,50	158,00	446,00	355,00	0,89	0,03
fev-04	8,82	6,46	16,50	41,00	156,00	70,60	0,53	0,01
mar-04	7,27	6,60	17,20	26,00	68,00	165,50	3,24	0,01
abr-04	7,48	8,30	52,60	51,00	41,00	125,00	0,89	0,03
mai-04	7,35	8,30	52,60	60,00	74,00	12,10	0,75	0,01
jun-04	8,05	8,10	104,70	7,00	37,00	15,60	1,00	0,01
jul-04	7,32	8,80	14,40	7,00	19,00	24,50	0,63	0,03
ago-04	7,05	8,20	15,80	12,00	9,00	43,60	0,33	0,01
set-04	7,42	8,30	9,00	53,00	115,00	17,10	0,31	0,03
out-04	7,19	8,70	14,10	16,00	230,00	90,10	0,38	0,06
nov-04	6,23	7,50	14,10	5,00	99,00	25,00	0,54	0,01
dez-04	6,69	7,50	47,20	20,00	40,00	60,70	0,54	0,01
jan-05	7,90	7,20	38,60	99,00	71,00	278,00	0,29	0,01
fev-05	7,85	7,80	17,20	21,00	98,00	62,40	0,69	0,01
mar-05	7,18	7,30	25,00	19,00	77,00	9,60	0,94	0,01
abr-05	7,43	7,90	17,10	13,00	22,00	9,40	0,64	0,01
mai-05	7,30	8,10	16,30	14,00	17,00	9,30	0,64	0,01
jun-05	7,63	8,60	16,90	36,00	60,00	20,40	0,54	0,01
jul-05	7,30	9,10	14,80	27,00	45,00	18,30	0,54	0,01
ago-05	8,39	8,50	15,00	10,00	56,00	23,70	0,99	0,01
set-05	7,68	8,30	14,70	36,00	2,00	17,20	0,88	0,06
out-05	7,85	9,70	15,40	2,00	103,00	29,20	1,24	0,01
nov-05	8,12	8,50	13,00	112,00	17,00	45,50	0,93	0,06
dez-05	7,02	7,90	14,80	42,00	91,00	59,30	0,86	0,03
jan-06	7,76	7,80	11,70	9,00	66,00	27,10	1,09	0,01
fev-06	9,66	7,70	14,90	8,00	19,00	14,50	0,44	0,03
mar-06	7,15	6,30	13,30	5,00	22,00	5,00	0,49	0,01
abr-06	7,22	6,50	12,10	15,00	3,00	103,60	0,44	0,01
mai-06	7,28	8,40	10,60	3,00	60,00	13,10	1,01	0,03
jun-06	7,02	8,20	10,60	13,00	36,00	11,00	0,59	0,01
jul-06	7,15	8,80	11,70	8,00	22,00	17,70	0,29	0,01
ago-06	7,80	8,50	11,90	5,00	31,00	9,30	1,19	0,01
set-06	7,55	9,00	10,90	19,00	16,00	21,40	1,09	0,01

Tabela 59 - Parâmetros a montante do reservatório de Rio Bonito para cálculo do IQA (conclusão)

Data	pH	OD (mg/l O ₂)	Condutividade Elétrica 24°C (µS/cm)	Sólidos Totais Suspensos (mg/l)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrato (mg/l)	Nitrito (mg/l)
out-06	7,32	7,70	25,50	51,00	57,00	38,80	1,20	0,01
nov-06	7,63	7,60	14,00	15,00	93,00	18,20	1,55	0,09
dez-06	8,14	8,30	12,70	46,00	29,00	31,40	1,26	0,03
jan-07	7,85	6,80	11,20	40,00	51,00	16,70	1,14	0,01
fev-07	7,93	8,10	17,20	23,00	142,00	42,20	1,59	0,01
mar-07	7,98	8,20	14,70	14,00	129,00	32,30	1,44	0,01
abr-07	7,83	8,10	17,70	34,00	79,00	33,60	1,56	0,03
mai-07	7,72	8,50	14,80	45,00	10,00	38,70	1,09	0,01
jun-07	6,99	8,50	15,20	21,00	36,00	15,20	1,36	0,03
jul-07	7,10	7,30	12,20	8,00	17,00	10,50	2,31	0,03
ago-07	7,41	8,40	14,80	12,00	31,00	12,00	1,36	0,03
set-07	7,29	8,10	15,20	19,00	11,00	13,60	6,08	0,01
out-07	7,68	8,80	13,70	10,00	74,00	9,80	6,78	0,01
nov-07	7,46	7,10	16,40	22,00	32,00	19,30	0,71	0,03
dez-07	7,52	7,30	16,60	14,00	110,00	46,10	1,11	0,03
jan-08	7,18	7,30	15,80	5,00	89,00	22,00	0,81	0,03
fev-08	7,16	7,70	19,30	24,00	38,00	21,20	1,16	0,03
mar-08	7,57	7,30	17,80	22,00	28,00	194,00	1,04	0,01
abr-08	6,57	7,80	52,00	9,00	86,00	5,10	0,44	0,01

Tabela 60 - Parâmetros a montante do reservatório de Rio Bonito para cálculo do IQA (continua)

Data	Nitrogênio Orgânico (mg/l)	Nitrogênio Kjeldahl (mg/l)	Amônia (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Temp (°C)
dez-02	1,05	1,32	0,27	0,10	7,60	300000,00	300000,00	-
jan-03	0,66	0,68	0,02	0,06	2,60	500,00	500,00	24,00
fev-03	0,27	0,30	0,03	0,05	5,40	16000,00	16000,00	22,00
mar-03	0,71	0,78	0,07	0,01	5,72	2400000,00	16000,00	22,00
abr-03	3,01	3,21	0,20	0,13	7,20	1600000,00	1600000,00	22,00
mai-03	0,23	0,26	0,03	0,01	8,20	160000,00	50000,00	19,00
jun-03	0,40	0,47	0,07	0,10	2,00	300000,00	90000,00	20,00
jul-03	0,45	0,57	0,12	0,04	2,40	90000,00	16000,00	18,00
ago-03	0,28	0,40	0,12	0,01	8,20	16000,00	16000,00	17,00
set-03	0,35	0,40	0,05	0,01	1,89	24000,00	5000,00	16,00
out-03	0,13	0,19	0,06	0,05	4,56	1600,00	900,00	19,00
nov-03	0,26	0,29	0,03	0,01	1,88	9000,00	9000,00	25,00
dez-03	0,39	0,44	0,05	0,07	7,33	50000,00	30000,00	22,00
jan-04	0,27	0,33	0,06	0,11	6,56	1600,00	110,00	23,00
fev-04	0,25	0,32	0,07	0,10	4,86	50000,00	5000,00	20,00
mar-04	0,79	0,86	0,07	0,08	2,50	30000,00	9000,00	21,00
abr-04	0,41	0,46	0,05	0,12	3,90	16000,00	16000,00	22,00
mai-04	0,14	0,16	0,02	0,07	3,50	9000,00	5000,00	21,00
jun-04	0,05	0,12	0,07	0,12	1,10	5000,00	500,00	18,00
jul-04	0,44	0,48	0,04	0,03	3,70	3000,00	2400,00	15,00
ago-04	0,28	0,31	0,03	0,05	2,80	5000,00	2400,00	19,00
set-04	0,82	0,88	0,06	0,02	3,10	5000,00	350,00	20,00

Data	Nitrogênio Orgânico (mg/l)	Nitrogênio Kjeldahl (mg/l)	Amônia (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Temp (°C)
out-04	0,38	0,46	0,08	0,08	3,80	24000,00	16000,00	18,00
nov-04	0,05	0,05	0,01	0,06	1,60	300,00	300,00	19,00
dez-04	0,17	0,19	0,02	0,05	2,50	24000,00	34,00	24,00
jan-05	0,58	0,59	0,01	0,01	3,20	30000,00	24000,00	23,00
fev-05	0,34	0,36	0,02	0,05	2,20	30000,00	9000,00	23,00
mar-05	0,05	0,08	0,03	0,06	4,20	2400,00	500,00	25,00
abr-05	0,16	0,19	0,03	0,03	4,00	30000,00	1600,00	24,00
mai-05	0,02	0,08	0,06	0,15	4,00	9000,00	5000,00	20,00
jun-05	0,20	0,21	0,01	0,06	4,50	16000,00	900,00	20,00
jul-05	0,01	0,01	0,01	0,03	3,50	5000,00	350,00	20,00
ago-05	0,25	0,26	0,01	0,03	7,50	9000,00	5000,00	20,00
set-05	0,45	0,45	0,01	0,12	1,60	9000,00	5000,00	21,00
out-05	0,17	0,17	0,01	0,03	4,40	16000,00	2400,00	21,00
nov-05	0,07	0,07	0,01	0,07	2,80	16000,00	9300,00	19,00
dez-05	0,25	0,25	0,01	0,03	4,60	3000,00	900,00	23,00
jan-06	0,15	0,15	0,01	0,03	4,80	16000,00	16000,00	24,00
fev-06	0,19	0,19	0,01	0,02	1,50	2400,00	500,00	28,00
mar-06	0,15	0,15	0,01	0,02	0,70	9000,00	2400,00	27,00
abr-06	0,20	0,20	0,01	0,07	3,90	30000,00	9000,00	23,00
mai-06	0,05	0,05	0,01	0,02	3,80	5000,00	33,00	18,00
jun-06	0,07	0,07	0,01	0,01	3,00	5000,00	1600,00	18,00
jul-06	0,21	0,21	0,01	0,02	8,30	9000,00	1600,00	18,00
ago-06	0,16	0,18	0,02	0,02	1,00	3000,00	1600,00	18,00
set-06	0,08	0,08	0,01	0,02	2,10	1600,00	500,00	21,00
out-06	0,10	0,11	0,01	0,03	7,50	16000,00	9000,00	21,00
nov-06	0,22	0,22	0,01	0,05	7,20	5000,00	1600,00	22,00
dez-06	0,11	0,11	0,01	0,03	5,50	9000,00	1600,00	23,00
jan-07	0,20	0,21	0,01	0,02	2,20	16000,00	9000,00	23,00
fev-07	0,14	0,14	0,01	0,07	3,20	9000,00	3000,00	23,00
mar-07	0,05	0,06	0,01	0,13	2,00	16000,00	3000,00	22,00
abr-07	0,19	0,21	0,02	0,05	2,60	90000,00	2400,00	21,00
mai-07	0,06	0,06	0,01	0,05	1,60	30000,00	3000,00	17,00
jun-07	0,07	0,08	0,01	0,03	7,70	3000,00	280,00	17,00
jul-07	0,02	0,02	0,01	0,03	7,10	9000,00	900,00	18,00
ago-07	0,07	0,07	0,01	0,05	0,90	2400,00	900,00	19,00
set-07	0,04	0,06	0,02	0,03	2,40	3000,00	900,00	19,00
out-07	0,07	0,09	0,02	0,01	2,10	2400,00	130,00	18,00
nov-07	0,10	0,10	0,01	0,03	4,10	16000,00	1600,00	21,00
dez-07	0,14	0,14	0,01	0,05	1,20	5000,00	2400,00	25,00
jan-08	0,03	0,03	0,01	0,02	1,90	3000,00	900,00	22,00
fev-08	0,11	0,11	0,01	0,02	4,70	9000,00	2400,00	23,00
mar-08	0,22	0,24	0,02	0,07	5,70	50000,00	1600,00	23,00
abr-08	0,69	1,15	0,46	0,06	0,60	1050,00	886,00	23,00

Tabela 61 - Parâmetros para cálculo do IQA dentro do reservatório (continua)

Data	pH	OD (mg/l O ₂)	Condutividade Elétrica 24°C (µS/cm)	Sólidos Totais Suspensos (mg/l)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrato (mg/l)	Nitrito (mg/l)
dez-02	7,71	8,30	16,60	51,00	17,00	11,30	0,11	0,06
jan-03	7,73	6,25	19,70	48,00	56,00	12,00	0,91	0,01
fev-03	7,45	7,00	26,80	38,00	64,50	19,80	1,34	0,01
mar-03	8,43	7,98	20,80	20,00	46,00	32,90	0,88	0,01
abr-03	7,43	8,10	19,30	13,00	37,00	14,50	2,00	0,02
mai-03	7,12	7,90	18,90	20,50	32,00	24,80	1,04	0,01
jun-03	8,80	8,80	16,80	19,00	58,00	17,60	1,12	0,01
jul-03	7,94	9,30	12,30	27,50	80,00	17,20	0,86	0,02
ago-03	7,20	9,00	14,00	20,00	39,50	14,00	0,91	0,03
set-03	7,03	8,16	16,40	19,50	45,50	17,30	0,65	0,01
out-03	9,56	9,45	12,00	27,50	35,00	21,50	0,81	0,02
nov-03	7,22	9,90	21,00	9,50	27,00	12,00	0,11	0,01
dez-03	9,40	8,06	18,70	13,00	29,00	18,00	0,82	0,01
jan-04	9,74	9,05	19,80	10,00	105,50	16,70	0,57	0,01
fev-04	7,49	6,46	20,30	74,00	233,00	20,30	0,49	0,01
mar-04	7,62	7,30	22,70	8,00	34,00	13,70	1,55	0,01
abr-04	9,11	8,90	62,00	26,00	16,00	20,20	0,89	0,01
mai-04	7,40	7,80	20,40	36,00	82,00	12,30	0,55	0,01
jun-04	8,57	8,10	64,70	10,00	57,00	13,70	0,64	0,01
jul-04	6,93	8,70	13,80	0,70	18,00	9,00	0,64	0,01
ago-04	7,72	8,30	13,20	6,00	1,00	7,60	0,29	0,01
set-04	7,12	8,10	10,20	65,00	164,00	23,90	0,36	0,03
out-04	7,55	8,10	13,50	19,00	47,00	10,40	0,13	0,01
nov-04	6,70	8,00	14,00	2,00	79,00	12,40	0,34	0,01
dez-04	10,20	9,60	54,70	11,00	34,00	27,80	0,01	0,01
jan-05	8,50	7,70	12,90	24,00	41,00	16,80	0,01	0,01
fev-05	8,40	9,90	21,20	8,00	83,00	14,00	0,29	0,01
mar-05	7,29	8,30	22,00	5,00	63,00	10,40	1,09	0,01
abr-05	7,64	8,20	21,30	11,00	15,00	10,50	0,69	0,01
mai-05	7,64	8,40	20,30	16,00	23,00	10,90	0,59	0,01
jun-05	7,51	8,30	17,90	18,00	31,00	12,30	0,44	0,01
jul-05	7,63	9,70	18,80	8,00	92,00	10,90	0,54	0,01
ago-05	8,62	9,40	19,30	14,00	32,00	8,70	0,94	0,01
set-05	8,20	9,10	19,90	33,00	9,00	3,70	0,98	0,06
out-05	7,89	9,20	18,00	3,00	99,00	7,50	0,84	0,01
nov-05	7,49	5,90	13,70	86,00	12,00	5,00	1,06	0,03
dez-05	7,01	9,10	14,20	11,00	98,00	7,60	0,66	0,03
jan-06	7,72	7,50	14,20	16,00	69,00	11,00	0,86	0,03
fev-06	9,66	7,70	14,90	8,00	19,00	14,50	0,44	0,03
mar-06	7,15	6,30	13,30	5,00	22,00	5,00	0,49	0,01
abr-06	7,25	5,90	15,00	4,00	3,00	3,00	0,29	0,01
mai-06	7,00	7,30	14,00	3,00	50,00	3,20	1,21	0,03
jun-06	6,95	7,20	13,40	7,00	17,00	3,50	0,54	0,01
jul-06	7,11	7,90	13,10	9,00	13,00	2,80	0,21	0,03
ago-06	7,88	8,10	12,60	14,00	36,00	5,40	0,46	0,03
set-06	7,77	8,50	12,00	11,00	31,00	11,70	0,65	0,03
out-06	8,99	8,10	17,70	30,00	31,00	10,60	0,63	0,06
nov-06	7,46	7,00	14,20	2,00	135,00	14,60	1,44	0,01
dez-06	7,85	6,70	14,20	16,00	40,00	27,30	1,50	0,09

Tabela 61 - Parâmetros para cálculo do IQA dentro do reservatório (conclusão)

Data	pH	OD (mg/l O ₂)	Condutividade Elétrica 24°C (µS/cm)	Sólidos Totais Suspensos (mg/l)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrato (mg/l)	Nitrito (mg/l)
jan-07	8,22	7,40	13,40	30,00	38,00	9,90	0,79	0,01
fev-07	8,18	8,30	21,60	17,00	53,00	10,60	0,71	0,03
mar-07	8,58	8,20	19,40	20,00	106,00	6,60	0,54	0,01
abr-07	7,75	7,40	18,10	5,00	64,00	4,60	0,81	0,03
mai-07	6,98	4,40	18,80	19,00	9,00	3,60	0,99	0,01
jun-07	6,82	6,80	19,90	12,00	37,00	13,90	1,46	0,03
jul-07	7,09	8,50	12,50	8,00	14,00	9,30	2,20	0,01
ago-07	7,63	8,80	17,90	6,00	47,00	5,60	1,06	0,03
set-07	7,26	7,70	16,60	17,00	13,00	3,80	5,48	0,01
out-07	7,44	8,00	17,70	25,00	31,00	4,30	8,90	0,01
nov-07	7,38	6,80	18,30	5,00	113,00	7,70	0,66	0,03
dez-07	7,93	8,50	18,20	14,00	35,00	10,40	0,39	0,01
jan-08	7,38	6,70	20,20	2,00	76,00	9,00	0,74	0,01
fev-08	7,68	8,10	20,80	9,00	24,00	2,70	0,91	0,03
mar-08	7,58	6,90	19,30	5,50	25,50	2,60	0,94	0,01
abr-08	6,86	7,80	57,00	7,00	113,00	4,80	0,49	0,01

Tabela 62 - Parâmetros para cálculo do IQA dentro do reservatório (continua)

Data	Nitrogênio Orgânico (mg/l)	Nitrogênio Kjeldahl (mg/l)	Amônia (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Temp (°C)
dez-02	0,69	1,09	0,40	0,01	3,90	900,00	900,00	-
jan-03	0,67	0,71	0,04	0,05	1,40	900,00	900,00	25,00
fev-03	0,43	0,46	0,03	0,01	5,40	900,00	900,00	25,00
mar-03	0,69	0,72	0,03	0,01	6,47	500,00	500,00	27,00
abr-03	1,34	1,50	0,16	0,05	5,70	500,00	300,00	24,00
mai-03	0,22	0,28	0,06	0,01	1,90	50,00	22,00	24,00
jun-03	0,46	0,58	0,12	0,05	1,80	20,00	2,00	23,00
jul-03	0,53	0,70	0,17	0,02	2,60	16000,00	220,00	20,00
ago-03	0,53	0,72	0,19	0,01	0,80	33,00	17,00	18,00
set-03	0,60	0,63	0,03	0,01	1,49	130,00	22,00	18,00
out-03	0,74	0,85	0,11	0,03	1,58	130,00	22,00	23,00
nov-03	0,90	1,00	0,10	0,01	2,80	2,00	2,00	27,00
dez-03	0,31	0,35	0,04	0,04	1,59	500,00	500,00	27,00
jan-04	0,43	0,47	0,04	0,06	2,58	50000,00	900,00	26,00
fev-04	0,31	0,34	0,05	0,13	5,46	900,00	900,00	25,00
mar-04	0,48	0,51	0,03	0,02	2,60	220,00	140,00	26,00
abr-04	0,45	0,53	0,08	0,03	1,70	1600,00	50,00	26,00
mai-04	0,38	0,45	0,07	0,03	2,80	350,00	14,00	25,00
jun-04	0,20	0,25	0,05	0,05	1,10	110,00	20,00	22,00
jul-04	0,30	0,34	0,04	0,03	4,10	50,00	2,00	18,00
ago-04	0,25	0,27	0,02	0,02	0,70	23,00	2,00	21,00
set-04	0,51	0,56	0,05	0,05	2,60	8,00	2,00	22,00
out-04	0,36	0,42	0,06	0,03	3,30	900,00	30,00	22,00
nov-04	0,37	0,40	0,03	0,03	1,40	16000,00	1600,00	23,00
dez-04	0,02	0,06	0,04	0,03	4,10	50,00	4,00	27,00

Data	Nitrogênio Orgânico (mg/l)	Nitrogênio Kjeldahl (mg/l)	Amônia (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Temp (°C)
jan-05	0,74	0,74	0,01	0,01	2,80	240,00	30,00	29,00
fev-05	0,21	0,22	0,01	0,01	2,20	220,00	80,00	23,00
mar-05	0,06	0,10	0,04	0,05	4,40	80,00	80,00	27,00
abr-05	0,26	0,28	0,02	0,01	4,70	130,00	8,00	28,00
mai-05	0,13	0,22	0,09	0,20	4,20	50,00	4,00	24,00
jun-05	0,22	0,23	0,01	0,03	3,10	280,00	13,00	23,00
jul-05	0,04	0,06	0,02	0,08	1,90	50,00	4,00	22,00
ago-05	0,27	0,28	0,01	0,05	8,50	130,00	23,00	23,00
set-05	0,52	0,53	0,01	0,10	2,20	900,00	300,00	23,00
out-05	0,25	0,25	0,01	0,03	1,90	3000,00	240,00	24,00
nov-05	0,14	0,14	0,01	0,01	2,10	130,00	80,00	24,00
dez-05	0,24	0,24	0,01	0,03	1,60	3000,00	30,00	26,00
jan-06	0,19	0,19	0,01	0,02	2,40	24000,00	5000,00	28,00
fev-06	0,19	0,19	0,01	0,02	1,50	50000,00	500,00	28,00
mar-06	0,15	0,15	0,01	0,02	0,70	2400,00	2400,00	27,00
abr-06	0,16	0,16	0,01	0,02	4,10	1600,00	22,00	25,00
mai-06	0,05	0,05	0,01	0,02	2,20	240,00	4,00	22,00
jun-06	0,06	0,06	0,01	0,01	4,30	1600,00	140,00	22,00
jul-06	0,19	0,19	0,01	0,02	2,00	9000,00	3000,00	21,00
ago-06	0,13	0,13	0,01	0,02	2,20	5000,00	3000,00	21,00
set-06	0,10	0,11	0,01	0,02	1,80	110,00	30,00	24,00
out-06	0,15	0,16	0,01	0,05	1,40	3000,00	300,00	25,00
nov-06	0,29	0,29	0,01	0,02	4,40	1600,00	110,00	24,00
dez-06	0,16	0,16	0,01	0,02	3,80	1600,00	300,00	25,00
jan-07	0,12	0,12	0,01	0,02	2,10	300,00	17,00	27,00
fev-07	0,12	0,12	0,01	0,02	3,40	3000,00	300,00	26,00
mar-07	0,08	0,08	0,01	0,08	1,50	900,00	300,00	27,00
abr-07	0,21	0,23	0,02	0,01	2,90	500,00	30,00	26,00
mai-07	0,08	0,08	0,01	0,02	1,10	1600,00	30,00	22,00
jun-07	0,08	0,10	0,02	0,03	1,50	80,00	2,00	21,00
jul-07	0,02	0,03	0,01	0,02	0,60	240,00	50,00	22,00
ago-07	0,08	0,09	0,01	0,02	1,50	8,00	2,00	21,00
set-07	0,05	0,06	0,01	0,02	1,40	1600,00	4,00	20,00
out-07	0,14	0,16	0,02	0,01	2,20	900,00	23,00	21,00
nov-07	0,11	0,12	0,01	0,02	0,50	3000,00	2400,00	23,00
dez-07	0,24	0,25	0,01	0,02	0,50	3000,00	1600,00	22,00
jan-08	0,03	0,04	0,01	0,01	0,50	13,00	2,00	21,00
fev-08	0,13	0,14	0,01	0,03	1,80	23,00	23,00	27,00
mar-08	0,17	0,18	0,01	0,03	1,50	3000,00	110,00	26,00
abr-08	0,86	1,52	0,66	0,06	0,80	1150,00	970,00	28,00