



ARTIGO | ARTICLE

## Qualidade da água de efluentes de pesqueiros situados na bacia do Alto Tietê

*Water quality in fish hatchery effluent located in the upper Tietê river basin*

Cacilda Thais Janson Mercante<sup>1</sup>

Jeniffer Sati Pereira<sup>2</sup>

Lídia Sumile Maruyama<sup>3</sup>

Paula Maria Genova de Castro<sup>1</sup>

Luciana Carvalho Bezerra de Menezes<sup>1</sup>

Suzana Sendacz<sup>1</sup>

Ariane Carolina Di Genaro<sup>2</sup>

### RESUMO

Este artigo é parte do estudo que caracterizou a atividade pesqueira das sub-bacias Guarapiranga e Tietê Cabeceiras (Bacia do Alto Tietê), através dos aspectos socioeconômicos e ambientais. Está inserido no projeto *Facilitating Negotiations over Water Conflicts in Latin-American Periurban Upstream Catchments: Combining Multi-Agent Modelling with Role Game Playing*, que pesquisa conflitos do uso da terra e água em regiões periurbanas da América Latina. Nos períodos de estiagem (agosto/2003) e chuva (janeiro/2004) a qualidade da água de efluentes de pesqueiros da região de Guarapiranga e da região de Tietê Cabeceiras foi avaliada, através do nitrogênio total e do fósforo total e de suas respectivas cargas, do coeficiente de exportação, dos fatores abióticos e da demanda bioquímica de oxigênio e sólidos totais. A análise dos resultados

<sup>1</sup> Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto de Pesca. Av. Francisco Matarazzo, 455, Parque da Água Branca, 05001-000, São Paulo, SP, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: C.T.J. MERCANTE. E-mail: <ccthais@pesca.sp.gov.br>.

<sup>1</sup> Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto de Pesca, Curso de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca. São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Regional do Extremo Oeste. São Paulo, SP, Brasil

evidenciou valores fora dos padrões recomendados na resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente 357/2005 para as duas sub-bacias, indicando um processo de degradação da qualidade da água. Além dos diferentes impactos a que a bacia hidrográfica está sujeita (agrícolas, industriais e urbanos) deve-se acrescentar a estes o lançamento de efluentes de pesqueiro. Recomenda-se o controle da qualidade da água através do manejo adequado, além do tratamento do efluente para minimizar tais impactos.

**Palavras-chave:** Alto Tietê. Eutrofização. Pesqueiro. Qualidade da Água.

## ABSTRACT

*This paper is part of the study that identified the fishing activities in the Guarapiranga and Tietê Cabeceiras sub-basins (Upper Tietê river basin) with regard to socio-economic and environmental aspects. It is part of the project known as "Facilitating negotiations over water conflicts in Latin-American periurban upstream catchments: combining multi-agent modeling with role game playing", that looks into the controversial use of land and water in peri-urban regions in Latin America. Throughout the dry season (August 2003) and rainy season (January 2004), the water quality of the fish hatchery effluent, in the Guarapiranga and Tietê Cabeceiras regions, was evaluated through the total nitrogen and total phosphorus and their respective loads, export coefficient, abiotic factors and bio-chemical demand of total oxygen and total solids. Analyzing the results, values were found to be outside of the level recommended by National Council for the Environment 357/2005 legislation for both sub-basins, thereby indicating a process of degradation of water quality. In addition to the different impacts that can affect the hydrographic basin (agricultural, industrial and urban), the discharge of fish hatchery effluent has also to be considered. Proper management is recommended as well as the treatment of the fish hatchery effluent in order to control water quality and consequently minimize such impacts.*

**Key words:** Alto Tietê. Eutrophication. Fish pond. Water quality.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento das cargas de nitrogênio e fósforo é um dos muitos fatores que atingem os ecossistemas aquáticos continentais. Dentre os principais desafios do Século XXI, referentes à crise da água, podem ser destacadas a escassez ou pouca disponibilidade, a deterioração de sua qualidade e a falta de percepção de gestores e do público em geral sobre a gravidade da crise (Tundisi, 1990).

Acompanhando as tendências atuais de países do primeiro mundo, o espaço rural brasileiro, principalmente a Região Centro-Sul, vem sofrendo grandes alterações, pois além de abrigar a agricultura, passou a abrigar também outras atividades como a agroindústria e atividades

pesqueiras (Graziano, 1999; Kitamura et al., 1999). Estas últimas estão concentradas próximas aos centros urbanos, não só para atender ao sistema de comercialização de peixes como também para atender a busca por serviços de lazer em ambientes naturais e aos usos alternativos e múltiplos de corpos d'água. Nos últimos anos (a partir da década de 1990) ocorreu um crescimento dessa atividade principalmente quanto à pesca esportiva (pesque-pague ou pague-pesque).

O presente artigo inseriu-se em um projeto maior: Projeto NEGOWAT (sigla para *Facilitating Negotiations over Water Conflicts in Latin-American Periurban Upstream Catchments: Combining Multi-Agent Modelling with Role Game Playing*), cuja finalidade principal foi pesquisar os conflitos do uso da terra e da água em regiões periurbanas da

América Latina. Além disso, este projeto visa desenvolver ferramentas para facilitar as negociações entre os diferentes grupos de interesse nestas regiões. Como parte desse projeto caracterizou-se a atividade pesqueira das sub-bacias Tietê Cabeceiras e Guarapiranga, utilizando-se estudos socioeconômicos e ambientais.

Segundo Venturieri (2002) e Sztibe & Sena (2004), a disponibilidade hídrica da bacia do Alto Tietê já é considerada crítica, pois o volume das captações supera 50% da vazão mínima, além disso, o espaço rural do Alto Tietê, na região metropolitana de São Paulo passou a ser drasticamente modificado em função de seu uso em atividades não-agrícolas como as industriais e a pesca esportiva.

O uso desenfreado dos recursos hídricos afeta suas qualidades e são poucos os estudos voltados a esse problema (Kitamura *et al.*, 1999; Valenti, 2000).

O manejo hídrico inadequado pode causar uma eutrofização artificial, gerando uma reação em cadeia, quebrando a estabilidade do sistema, uma vez que os fatores atuam de modo interligado, afetando o sucesso do empreendimento (pesqueiros) (Vinatea, 1997; Sipaúba-Tavares *et al.*, 1998). De acordo com Boyd (1990), a eutrofização em viveiros ocorre devido a um excesso de alimento introduzido ao meio, ocasionando um excesso que não é consumido pelos peixes.

O sucesso econômico desta atividade, segundo Eler *et al.* (2001), depende da boa manutenção da qualidade da água, sendo que esta qualidade pode ser influenciada por diversos fatores, mas principalmente pelo manejo dos alimentos.

Estudos realizados em pesqueiros situados na região metropolitana de São Paulo indicaram elevado grau de deterioração da água, sugerindo entre outros fatores, que o manejo empregado promoveu um intenso processo de eutrofização nesses locais (Mercante *et al.*, 2004; Mercante *et al.*, 2006). Ainda com relação aos aspectos sanitários verificou-se presença de cianotoxinas em 60% dos pesqueiros, fato relacionado, entre outros, às elevadas concentrações de fósforo presentes na água (Honda *et al.*, 2006), devido ao manejo inadequado.

Em comparação com outros macronutrientes necessários à vida aquática, o fósforo é o que ocorre em menor abundância, portanto, ele é considerado o elemento limitante à produtividade biológica (Wetzel, 1993). Além disso, este elemento é um dos principais responsáveis pela eutrofização artificial.

Outro elemento de larga importância para o metabolismo de sistemas aquáticos é o nitrogênio. Este elemento participa na formação de proteínas, e assim como o fósforo, atua também como fator limitante na produção primária (Wetzel, 1993).

O incremento de nitrogênio no meio também pode ocorrer devido aos excretas dos animais, à aplicação de fertilizantes nitrogenados amoniacais, como o sulfato de amônio, ao nitrato de amônio e aos fosfatos monoamônicos e diamônicos. Quando há grande concentração de nitrogênio orgânico no substrato aquático, este é liberado para a água sob a forma de amônia, e esta é muito tóxica para os organismos aquáticos (Sipaúba-Tavares *et al.*, 1998).

Os rios e os demais cursos d'água são as principais vias de transferência dos elementos nitrogênio e fósforo para muitos lagos e reservatórios, já que integram diversas fontes pontuais e difusas desses elementos dentro dos mananciais (International Environmental Technology Centre, 2001).

Dessa maneira, os tributários constituem fontes potenciais de eutrofização de reservatórios; e acarretam um grande impacto na qualidade da água de uma represa (Henry *et al.*, 1999).

Um dos fatores envolvidos na deterioração das águas dos rios é a falta de tratamento dos efluentes lançados em seu percurso (Braga *et al.*, 2004). De acordo com o Capítulo IV, Artigo n. 24, da Resolução CONAMA 357/2005: "Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis". E conforme o Artigo n. 32 desta mesma Resolução: "nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários,

de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados". Portanto estudos que avaliem e monitorem o grau de poluição dos corpos d'água receptores são de extrema importância para que se possam minimizar os impactos gerados por esta atividade.

Este artigo fez parte do projeto intitulado: Facilitando a negociação dos conflitos da água na bacia periurbana de países da América Latina (NEGOWAT), desenvolvendo ferramentas para a melhor gestão dos usos múltiplos da água.

O objetivo principal deste artigo é avaliar as concentrações e cargas de emissão dos efluentes dos pesqueiros na bacia hidrográfica do Alto Tietê, de acordo com os padrões e recomendações da resolução CONAMA 357/2005, empregando também o Índice de Estado Trófico (IET) para caracterizar a qualidade da água lançada no corpo receptor.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Tietê possui uma área total de 7 390km<sup>2</sup> e é composta por 36 municípios. Além disso, está situada no Planalto Atlântico, em região de rochas cristalinas do período cenozoico (DAEE, 2002; Sztibe & Sena, 2004; Hidrogeologia..., 2005). A vazão média de suas águas superficiais corresponde a 86m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, sendo a sua vazão mínima correspondente a 20m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Sztibe & Sena, 2004).

A demanda de água do sistema Alto Tietê é responsável pela crítica disponibilidade hídrica dessa bacia, visto que 61,1% da vazão é destinada ao uso doméstico, 16,4% ao uso industrial e 2,6% da vazão é destinada para a irrigação, correspondendo a um total utilizado de 80,2% (Sztibe & Sena, 2004).

Os principais cursos de água dessa bacia são os rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, abrangendo ainda os reservatórios de Ribeirão do Carmo, Ponte

Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiá, Taiacupeba, Billings, Edgá de Souza, Paiva Castro, Pirapora, Rio das Pedras e Guarapiranga (Hidrogeologia..., 1995).

A bacia do Alto Tietê é subdividida em bacias menores denominando-se sub-bacias. Avaliando-se os mapas de uso e ocupação do solo, verificou-se que os pesqueiros situados na região da sub-bacia Guarapiranga encontram-se em área de várzea, caracterizada por grande impacto, devido à urbanização e agricultura. Os pesqueiros situados na sub-bacia Tietê Cabeceiras encontram-se em áreas de predominância agrícola (horticultura e fruticultura), que apresentam ainda extensa cobertura vegetal mais densa originada de reflorestamento.

Os efluentes amostrados foram de pesqueiros localizados na sub-bacia Guarapiranga e na sub-bacia Tietê Cabeceiras.

A sub-bacia Tietê Cabeceiras abrange os municípios paulistas de Guarulhos, Suzano, Ferraz de Vasconcelos, Poá, Itaquaquetuba, Mauá, Biritiba Mirim, Salesópolis, Paraibuna e Mogi das Cruzes, incluindo as represas Ponte Nova, Jundiá e Taiacupeba, Estação Reservatória de Biritiba, Canal Biritiba-Jundiá e Canal Jundiá-Taiacupeba. Já a sub-bacia Guarapiranga abrange as regiões de Parelheiros e Jardim Ângela em São Paulo, os municípios de Embú, Itapeperica da Serra, Cotia, Embú-Guaçu e São Lourenço da Serra, incluindo a represa de Guarapiranga.

### Pesqueiros relacionados aos efluentes

Os pesqueiros foram identificados e localizados geograficamente a partir de um GPS (sub-bacia Guarapiranga: PP8 - 23°48'26" Latitude S, 46°44'41" Longitude O; PP9 - 23°48'00" Latitude S, 46°44'41" Longitude O; PP10 - 23°48'05" Latitude S, 46°42'12" Longitude O; PP22 - 23°48'03" Latitude S, 46°40'19" O; sub-bacias Tietê Cabeceiras: PP1; PP2 - 23°38'10" Latitude S, 46°12'21" Longitude O; PP4 - 23°34'29" Latitude S, 46°20'01" Longitude O). Foram, então, realizados os contatos iniciais via telefone e agendadas as visitas aos empreendimentos. Foi dada a sigla PP (Pesque-Pague) para

cada pesqueiro e uma numeração para identificá-los.

As áreas dos pesqueiros variaram de 4 850m<sup>2</sup> em PP10 e PP22 (sub-bacia Guarapiranga) a 19 000m<sup>2</sup> em PP2 (sub-bacia Tietê Cabeceiras).

Neste estudo não foi possível avaliar um maior número de locais, pois muitos pesqueiros mantêm os monges fechados notadamente no período de estiagem. Por isso, não foi possível realizar as coletas no período de estiagem em alguns empreendimentos como PP1, PP8 e PP2.

Nestes empreendimentos, os principais tipos de peixes utilizados para a pesca esportiva são as tilápias, as carpas e os pintados. Estas espécies são encontradas em regiões de clima tropical, porém são exóticas nas sub-bacias estudadas.

Os proprietários e os pescadores esportivos que se encontravam nesses locais foram entrevistados, de acordo com questionários elaborados por Castro *et al.* (2006), contendo questões abertas e fechadas, com os seguintes itens abordados: caracterização do empreendimento (área do pesqueiro, número de lagos, área e profundidade dos lagos, densidade de estocagem, diversidade de peixes, etc.), característica do proprietário e histórico da propriedade, avaliação econômica e ambiental, além do perfil do pescador esportivo usuário de pesque-pague. Além das entrevistas, as informações obtidas através de relatos espontâneos e pelas observações de campo complementaram a análise dos dados, também realizado por Castro *et al.* (2006).

## Coleta das amostras

Coletaram-se amostras de efluentes de sete pesqueiros ao longo do sistema. As coletas foram realizadas no período estiagem-frio (agosto/ 2003 e agosto/ 2004) e chuvoso-quente (janeiro/ 2004).

Foram determinadas no local de coleta a temperatura da água, pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, utilizando o aparelho Horiba U-22. No laboratório, foram determinadas as quantidades de sólidos totais em suspensão segundo o Método do STS seco a 103°C (American..., 1998),

as concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais) segundo MacKereth *et al.* (1978) e a demanda biológica do oxigênio, segundo Golterman *et al.* (1978). As cargas de nutrientes foram obtidas através do produto entre os valores de vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) e concentrações totais de nitrogênio (mg.L<sup>-1</sup>) e fósforo (µg.L<sup>-1</sup>).

Para o cálculo da vazão utilizou-se o método volumétrico que se baseia no tempo gasto para um determinado fluxo de água ocupar um recipiente de volume conhecido (Leopoldo & Souza 1979).

Por meio dos valores das cargas obtidas e das áreas totais dos lagos existentes nos pesqueiros, calculou-se o coeficiente de exportação de nutrientes para cada empreendimento em relação ao despejo de fósforo e nitrogênio através da equação 1:

$$E = \text{Carga} / (\text{área dos lagos}) * 365 \quad \text{equação 1}$$

onde E = coeficiente de exportação (Kg/PT ou NT), área = m<sup>2</sup>, ano = 365 dias.

Conforme as recomendações apresentadas em Toledo *et al.* (1983) e Mercante & Tucci-Moura (1999) no presente artigo calculou-se o índice de estado trófico de Carlson, modificado por Toledo *et al.* (1983), o qual foi ajustado para ambientes tropicais. Este índice é utilizado para estimar o estado trófico de sistemas aquáticos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medida de vazão é de fundamental importância para o conhecimento da dinâmica dos pesqueiros. Isto porque a manutenção do fitoplâncton relaciona-se diretamente com essa variável.

A maior vazão dentre os efluentes das duas sub-bacias ocorreu em PP1 com 1,54m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> no período de chuva e a menor em PP4 com 0,12m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> no período de estiagem, ambos localizados na sub-bacia Tietê Cabeceiras.

As variações de temperatura no meio aquático costumam ser brandas, visto que o calor específico dela é muito alto. Entretanto, uma

oscilação da temperatura pode alterar a solubilidade dos gases na água, sendo que quanto mais quente ela for, menos solúvel aos gases será. O desequilíbrio térmico em um corpo d'água afeta principalmente a quantidade de oxigênio dissolvido, sendo que a diminuição dele aumenta a sua própria demanda (Vinatea, 1997).

A água dos efluentes da sub-bacia Guarapiranga, tanto no período seco como chuvoso, apresentaram valores inferiores à temperatura ideal de 28 a 32°C, proposta por Kubitza (1999) para o cultivo de peixes tropicais variando de 22,6° a 25,1°C (Tabela 1). Nos efluentes da Sub-bacia Tietê Cabeceiras a temperatura ideal foi registrada apenas no período de chuva em dois pesqueiros (PP2 e PP1), e manteve-se abaixo de 28°C no período de estiagem.

Em todos os pesqueiros amostrados, os valores de pH permaneceram inferiores a 7 (Tabela 1) indicando leve acidez das águas.

A condutividade elétrica é de extrema importância, pois fornece informações do metabolismo do ecossistema detectando as fontes poluidoras. Quando seus valores são altos, indicam alto grau de decomposição, ou seja, grande concentração de íons na água (Sipaúba-Tavares, 1995). Foi obtido, na maior parte dos efluentes dos pesqueiros amostrados, um valor de condutividade elétrica elevado, com valores entre 38 (PP2, sub-bacia Tietê Cabeceiras) e 146  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (PP22, sub-bacia Guarapiranga) (Tabela 1), fato que pode ser relacionado à matéria orgânica em decomposição de origem antrópica devido a adubações e alimentos introduzidos em excesso e não utilizados pelos peixes.

Além disso, os valores médios de condutividade elétrica dos pesqueiros da sub-bacia Guarapiranga foram mais elevados em relação aos valores dos pesqueiros situados na sub-bacia Tietê Cabeceiras, tanto no período seco quanto no chuvoso. A sub-bacia Guarapiranga está inserida na bacia do Alto Tietê a qual abrange grande parte da Região Metropolitana da Grande São Paulo e recebe altas cargas de esgoto. Richter *et al.* (2007) em um estudo na Represa Guarapiranga em 2002 e 2003 considerou

os pontos amostrados, junto a barragem e em seus afluentes, como ambientes impactados, pois registrou valores de condutividade elétrica superior a 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Turbidez é a medida da capacidade que a água tem de dispersar a radiação, dessa forma, está associada à presença de partículas sólidas em suspensão, à condutividade elétrica e também a grande quantidade de fitoplâncton. Com exceção dos efluentes de PP10 e PP22 da Sub-bacia Guarapiranga no período de chuva e de PP4 da Sub-bacia Tietê Cabeceiras em ambos os períodos, todos os efluentes apresentaram valores de turbidez (Tabela 1) maiores que o recomendado pela Resolução CONAMA 357/2005 de acordo com a classe 2, ou seja, acima de 100 NTU.

Na Tabela 1, pode-se observar que o efluente em que foi registrado o maior valor para o oxigênio dissolvido foi em PP8 no período de chuva com 10,91  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e o menor foi em PP4 no período de seca com 8,6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Grandes quantidades de matéria orgânica em decomposição aumentam o consumo do oxigênio na água prejudicando a vida da maioria das espécies de peixes (Huet, 1973). De acordo com Kubitza (1999) baixas concentrações de oxigênio podem causar diminuição no crescimento, redução na eficiência alimentar, aumento da incidência de doenças e mortalidade dos peixes. Os elevados valores de oxigênio dissolvido encontrados indicaram uma supersaturação de oxigênio na água que gerou valores de porcentagem maiores que 100% (Tabela 1). Tais resultados também foram obtidos em estudos realizados em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo (Mercante *et al.*, 2006) e em um viveiro de engorda de tilápias, Pindamonhangaba, SP (Mercante *et al.* 2007). Mercante *et al.* (2007) evidenciaram nitidamente a relação entre a atividade fotossintética das algas e a dinâmica do oxigênio e registraram um valor médio de 121% de saturação de oxigênio.

A supersaturação é consequência de grande quantidade de organismos fotossintetizantes, visto que a concentração de oxigênio é o resultado das

atividades metabólicas dos diferentes organismos que habitam o corpo aquático (Takino & Cipolli, 1988). A quantidade elevada de organismos fotossintetizantes, algas, é resultado de grande acúmulo de nutrientes (PT e NT) no corpo de água. Além disso, em sistemas abertos, a concentração de oxigênio varia em função da turbulência da água e difusão direta do gás.

A DBO indica a quantidade de oxigênio necessária para decomposição biológica ou enzimática da matéria orgânica e é um elemento

fundamental em todo o estudo que tenha por objetivo a preservação das condições ecológicas dos rios e mananciais (Branco, 1986).

Todos os efluentes dos pesqueiros analisados apresentaram DBO (Tabela 1) dentro dos limites estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 de acordo com a classe 2 (águas destinadas à criação natural e/ou intensiva de organismos aquáticos ao consumo humano), ou seja, inferiores a 5mg.L<sup>-1</sup>. Embora as demais variáveis estudadas tenham indicado um processo de degradação da matéria

**Tabela 1.** Variáveis físicas e químicas medidas nos efluentes de pesqueiros situados na região do Alto Tietê (sub-bacias Guarapiranga e Tietê Cabeceiras) no período de agosto/2003 e janeiro/2004.

Variáveis	Temp	pH	CE	Turb	DBO	OD	%Sat	STS	PT	NT	IET Mod
Pesqueiros											
Unidades	°C		uS.cm <sup>-1</sup>	NTU	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>		mg.L <sup>-1</sup>	µg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	
<i>Guarapiranga seca 3</i>											
PP9	24,76	6,33	97,00	118,00	2,94	8,63	115,84	67,00	184,00	0,68	72,00
PP8	24,78	6,13	93,00	134,00	*	9,01	120,93	79,00	*	*	*
PP10	25,03	6,18	92,00	109,00	1,99	8,97	120,39	61,00	64,00	0,54	57,00
PP22	24,60	6,21	101,00	111,00	*	8,87	119,05	75,00	*	*	*
Média	24,79	6,21	95,75	118,00	2,47	8,87	119,05	70,00	124,00	0,61	64,50
Mínimo	24,60	6,13	92,00	109,00	1,99	8,63	115,84	61,00	64,00	0,54	57,00
Máximo	25,03	6,33	101,00	134,00	2,94	9,01	120,93	79,00	184,00	0,68	72,00
<i>Guarapiranga chuva 4</i>											
PP9	22,61	6,14	116,00	150,00	1,87	10,38	134,29	76,00	57,54	0,877	55,00
PP8	22,68	6,08	66,00	114,00	1,98	10,91	141,14	43,00	87,32	0,658	61,00
PP10	23,26	6,12	67,00	67,90	1,77	10,83	137,54	44,00	54,08	0,645	54,00
PP22	25,14	6,53	146,00	97,40	2,08	9,70	130,19	95,00	80,17	0,560	60,00
Média	23,42	6,22	98,75	107,33	1,93	10,46	135,79	64,50	69,78	0,690	57,50
Mínimo	22,61	6,08	66,00	67,90	1,77	9,7	130,19	43,00	54,08	0,560	54,00
Máximo	25,14	6,53	146,00	150,00	2,08	10,91	141,14	95,00	87,32	0,877	61,00
<i>Tietê Cabeceiras seca 3</i>											
PP2	22,000	6,030	50,00	116,00	2,00	8,78	111,51	32,00	70,18	0,64	58,00
PP1	24,000	6,270	139,00	107,00	1,94	8,68	114,43	90,00	*	*	*
PP4	23,500	6,180	81,00	17,50	2,20	8,60	111,26	53,00	102,19	0,66	63,00
Média	23,167	6,160	90,00	80,17	2,05	8,69	112,40	58,33	86,19	0,65	60,50
Mínimo	22,000	6,030	50,00	17,50	1,94	8,6	111,26	32,00	70,18	0,64	58,00
Máximo	24,000	6,270	139,00	116,00	2,20	8,78	114,43	90,00	102,19	0,66	63,00
<i>Tietê Cabeceiras chuva 4</i>											
PP2	28,35	6,41	38,00	142,00	1,71	10,52	148,75	24,00	65,17	0,571	57,00
PP1	29,59	6,20	124,00	239,00	1,84	9,18	134,25	81,00	80,01	0,683	60,00
PP4	26,52	6,97	96,00	54,10	2,04	10,44	150,11	63,00	97,23	0,611	63,00
Média	28,15	6,53	86,00	145,03	1,86	10,05	144,37	56,00	80,80	0,620	60,00
Mínimo	26,52	6,20	38,00	54,10	1,71	9,18	134,25	24,00	65,17	0,571	57,00
Máximo	29,59	6,97	124,00	239,00	2,04	10,52	150,11	81,00	97,23	0,683	63,00

\*local não amostrado devido a saída do monge estar fechada.

temp.: temperatura da água; CE: condutividade elétrica; Turb: turbidez; DBO: demanda bioquímica do oxigênio; STS: sólidos totais em suspensão; PT: fósforo total; NT: nitrogênio total; OD: oxigênio total; %Sat: porcentagem de saturação do oxigênio; IET Mod: índice de estado trófico modificado.

orgânica devido a elevados valores de condutividade elétrica e turbidez e valores de pH baixos, muito provavelmente, a quantidade de matéria orgânica não foi tão elevada a ponto de ocorrer um intenso processo de decomposição que pudesse ser detectado pelo método bioquímico.

O efluente com maior valor para os sólidos dissolvidos foi o PP22 (sub-bacia Guarapiranga) com  $95\text{mg.L}^{-1}$  no período chuvoso e com o menor valor foi o PP2 (sub-bacia Tietê Cabeceiras) com  $24\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 1).

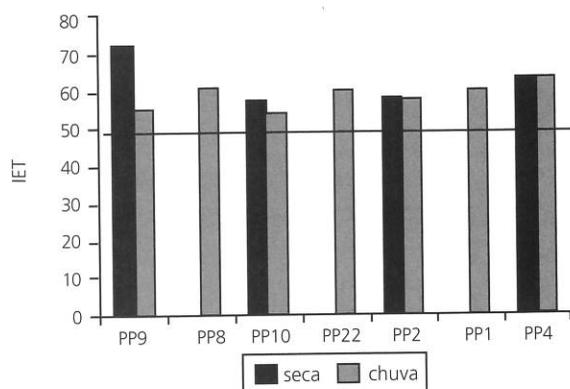
O fósforo e o nitrogênio podem ser responsáveis pelo processo de eutrofização artificial, gerando uma reação em cadeia e quebrando a estabilidade do sistema aquático, visto que este passa a receber e produzir maior quantidade de matéria orgânica do que a sua capacidade de consumo e decomposição (Esteves, 1998).

O aporte de nitrogênio e fósforo nos viveiros de piscicultura advém, principalmente, do excesso de alimento introduzido no meio, visto que são componentes principais da ração dos peixes, assim como da grande decomposição de matéria orgânica e excreção (Eler *et al.*, 2001; Mercante *et al.*, 2006; Mercante *et al.*, 2007).

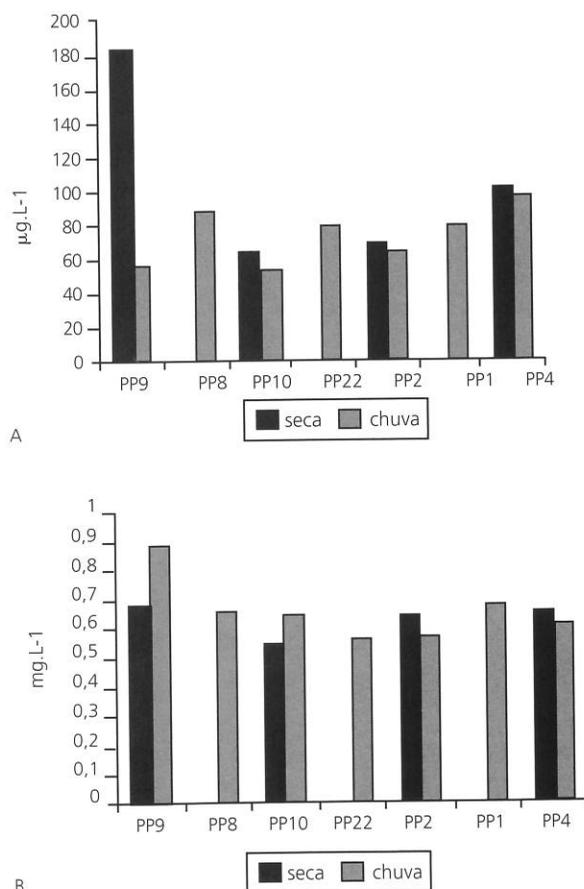
Considerando as concentrações de fósforo total obtidas nas amostras das águas à jusante dos pesqueiros, todos os pesqueiros classificaram-se como eutróficos, visto que os índices de estado trófico modificados ultrapassaram o valor 51 (Tabela 1 e Figura 1).

Os índices obtidos nos efluentes foram comparáveis aos índices obtidos por Mercante & Tucci-Moura (1999), no Lago das Garças (IET = 63), considerado um ambiente muito eutrofizado devido a grande entrada de fósforo. Como também aos estudos realizados em trinta pesqueiros da Região Metropolitana de São Paulo (Mercante *et al.*, 2006).

Os resultados de concentração de fósforo total,  $54,08$  a  $184\text{ig.L}^{-1}$  (Tabela 1 e Figura 2A) foram muito acima do recomendado pela resolução CONAMA 357/2005 de acordo com a classe 2 para ambientes lênticos. Por outro lado, as concentrações de nitrogênio total,  $0,54$  a  $0,877\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 1 e Figura 2B), encontraram-se dentro dos padrões



**Figura 1.** Índice de Estado Trófico (modificado) dos efluentes situados na região das Sub-bacias Guarapiranga e Tietê Cabeceiras nos períodos de seca e chuva (agosto/2003 e janeiro/2004). Acima do limite 51, demarcado no gráfico, o ambiente é considerado eutrófico.



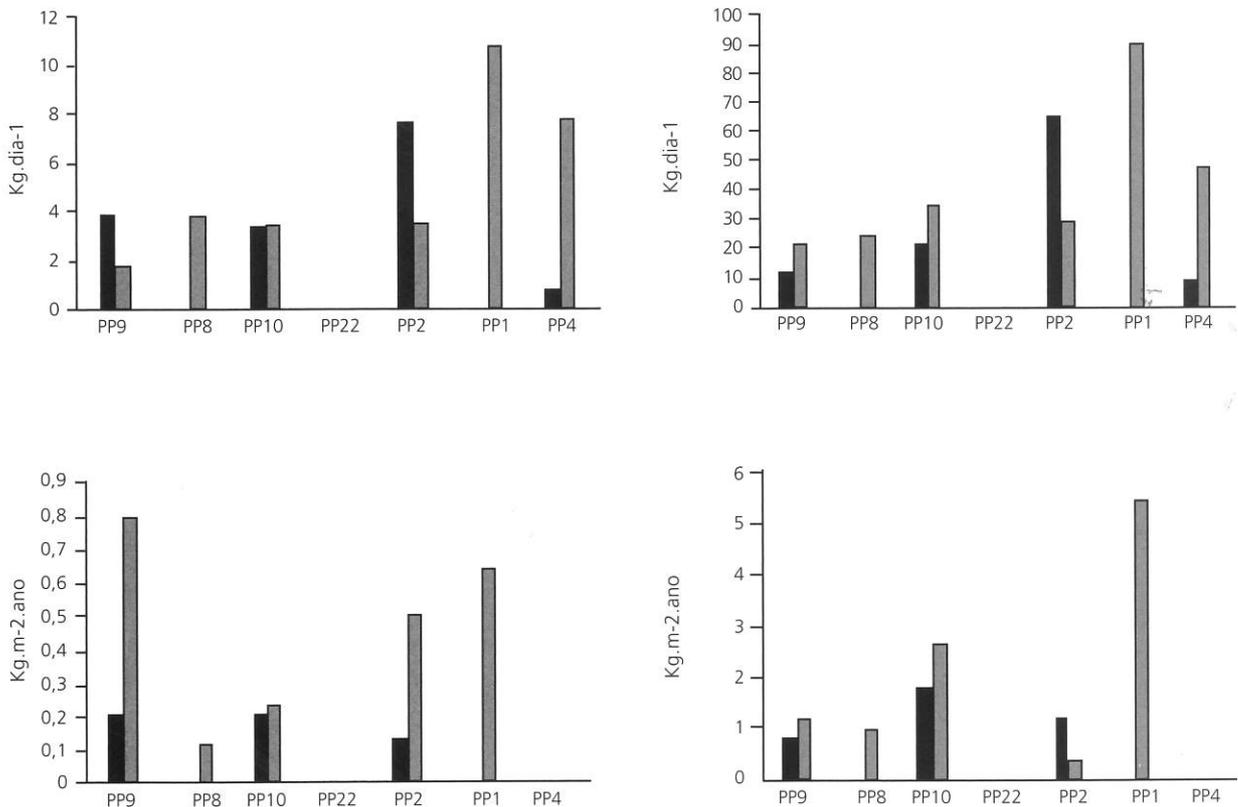
**Figura 2.** Fósforo total em  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (A) e Nitrogênio total em  $\text{mg.L}^{-1}$  (B) nos efluentes situados na região da Sub-bacia Guarapiranga (PP9, PP8, PP10, PP22) e Tietê Cabeceiras (PP2, PP1, PP4) nos períodos de seca e chuva (agosto/2003 e janeiro/2004).

recomendados pela mesma resolução ou seja, inferiores à 1,27mg/L. Portanto, pode-se inferir que a principal causa da eutrofização desses ambientes aquáticos foi o alto nível de fósforo.

Os maiores valores de carga de P e N obtidos, respectivamente, foram: 10,65kg.dia<sup>-1</sup> e 90,88kg.dia<sup>-1</sup>, ambos em PP1 no período chuvoso. E os menores valores obtidos foram, respectivamente, 1,06kg.dia<sup>-1</sup> e 6,88kg.dia<sup>-1</sup> em PP4 no período de estiagem (Figura 3 A e 3B).

As cargas instantâneas de nitrogênio e fósforo, que chegam ao corpo d'água por meio de efluentes, podem ser calculadas pela razão do produto entre os valores da vazão em L.s<sup>-1</sup> e a concentração, em

mg.L<sup>-1</sup>, dos nutrientes. Sua estimativa pode indicar o grau em que o aporte de nitrogênio e fósforo está atuando na degradação do sistema aquático, a jusante, neste caso, do empreendimento. As elevadas cargas de nutrientes estão também relacionadas à baixa qualidade nutricional e estabilidade do alimento na água (Kubitza, 1999). As cargas obtidas nos efluentes dos pesqueiros podem ser comparadas aos resultados obtidos no trabalho realizado por Sendacz et al. (2005), em que as cargas de nitrogênio e fósforo obtidas nas regiões de agricultura foram, respectivamente, 8,6kg.dia<sup>-1</sup> e 0,2kg.dia<sup>-1</sup> na região de Parelheiros, SP, valores menores do que os estimados nos efluentes dos pesqueiros analisados neste estudo.



**Figura 3.** Cargas de fósforo (A) e nitrogênio (B) em kg.dia<sup>-1</sup> e coeficiente de exportação de fósforo (C) e nitrogênio (D) em kg.m<sup>-2</sup>.ano nos efluentes situados na região das Sub-bacias Guarapiranga (PP9, PP8, PP10, PP22) e Tietê Cabeceiras (PP2, PP1, PP4) nos períodos de seca e chuva (agosto/ 2003 e janeiro/ 2004).

Pode-se observar através da Figura 3C e 3D que os valores de coeficiente de exportação de fósforo e nitrogênio obtidos neste estudo foram elevados. Os valores de coeficiente de exportação de fósforo variaram de 0,06 (PP2, período chuvoso) a 0,65 (PP1, período chuvoso) kg.m<sup>-2</sup>.ano e os de

nitrogênio variaram de 0,54 (PP2, período chuvoso) a 5,53 (PP1, período chuvoso) kg.m<sup>-2</sup>.ano. Thomaz *et al.* (1992) obtiveram valores bem menores para o nitrogênio e fósforo na Bacia do Rio Paraná (PR-BR), respectivamente de 0,000136kg.m<sup>-2</sup>.ano e 0,000014kg.m<sup>-2</sup>.ano (Tabela 2).

**Tabela 2.** Cargas de nitrogênio e fósforo e seus respectivos coeficientes de exportação de alguns rios, reservatórios e empreendimento de aquicultura.

Local	Carga (Kg/dia)		Coeficiente de exportação (Kg/m <sup>2</sup> ano)		Referência
	Nitrogênio	Fósforo	Nitrogênio	Fósforo	
Rio Inhaçá (SP/PR)	250	40			Ferrareze <i>et al.</i> (2005)
Rio das Cinzas (SP/PR)	192020	48710			Ferrareze <i>et al.</i> (2005)
Jusante do Reservatório Ponte Nova	10,3	0,4			Sendacz <i>et al.</i> (2005)
Jusante do Reservatório de Taiapuêba	16	0,4			Sendacz <i>et al.</i> (2005)
Rio Ivinhema (PR)			0,000134	0,000026	Thomaz <i>et al.</i> (1992); Heny (2007)
Rio Paraná (PR)			0,00136	0,000014	Thomaz <i>et al.</i> (1992); Heny (2007)
Rio Tietê (SP) Bacia do Médio Tietê			0,000899	0,000053	Oishi (1996); UNEP - IETC (2001)
Fazenda de carcinicultura nº1 bacia do Baixo Jaguaribe (CE)				0,000092	Figueiredo <i>et al.</i> (2005)
Fazenda de carcinicultura nº2 bacia do Baixo Jaguaribe (CE)				0,000091	Figueiredo <i>et al.</i> (2005)
Pesqueiro - Sub bacia Tietê Cabeceiras (SP)	90,88	10,65	5,53	0,65	Mercante <i>et al.</i> (2006)

Concluiu-se no presente artigo que os pesqueiros contribuíram com elevado aporte, notadamente, de fósforo em ambas as bacias pesquisadas. Fato que pode ser corroborado pelas concentrações deste elemento constantemente acima do recomendado pela resolução CONAMA 357/2005. Além disso, tanto as cargas como os coeficientes de exportação mostraram-se elevados quando comparados com outros estudos. O cálculo do índice de estado trófico classificou a água dos efluentes de todos os empreendimentos, tanto no período seco como no chuvoso, de eutróficos a hipereutróficos, evidenciando a eutrofização desses sistemas. A partir dos resultados recomenda-se o tratamento dos efluentes advindos dos pesqueiros

com a finalidade de minimizar o processo de degradação ambiental nas sub-bacias em questão.

#### A G R A D E C I M E N T O S

Ao projeto NEGOWAT (INCO-DEV: *International Cooperation with Developing/Countries ICA4-2002-10061*)

#### R E F E R Ê N C I A S

American Public Health Association. (1998). *Standard methods for the examination of water and waste water*. Washington, DC: United Book Press.

- Boyd, C. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Birmingham Publishing. p.482.
- Braga, B.; Hespanhol, I. & Conejo, J.G.L. (2004). *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall. p.305.
- Branco, S.M. (1986). *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3ª ed. São Paulo: CETESB. p.593.
- Castro, P.M.G.; Maruyama, L.S.; Mercante, C.T.J. & Menezes, L.C.B. (2006). Perspectivas da atividade de pesqueiros no alto Tietê: contribuição à gestão de usos múltiplos da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, 32(1):1-14.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Classificação das águas doces, salobras e salinas do território Nacional. Resolução n.357, de 17 de março 2005
- Departamento de Águas e Energia Elétrica. (2002). *Características dos comitês de bacia hidrográfica no Estado de São Paulo*. São Paulo: DRH. p.25.
- Eler, M.N.; Ceccarelli, P.S.; Bufon, A.G.M. & Espíndola, E.L.G. (2001). Mortandade de peixes (matrinxã, *Brycon cephalus*, e pacu, *Piaractus mesopotamicus*) associada a uma floração de cianobactérias em pesque-pague, município de Descalvado, Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim Técnico do CEPTA*, 14:35-45.
- Esteves, F.A. (1998). *Fundamentos de limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- Ferrareze, M.F.F.; Nogueira, M.G. & Vianna, N.C. (2005). Transporte de nutrientes e sedimentos no rio Paranapanema (SP/PR) e seus principais tributários nas estações seca e chuvosa. In: Nogueira, M.G.; Henry, R. & Jorcin, A. (2005). *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistema em cascata*. São Carlos: Rima. p.435-559.
- Figueiredo, M.C.B.; Araújo, L.F.P.; Gomes, R.B.; Rosa, M.F.; Paulino, W.D. & Morais, L.F.S. (2005). Impactos ambientais do lançamento de efluente da carcinicultura em águas interiores. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 10(2):167-74.
- Golterman, H.L. & Clymo, R.S. (1978). *Methods for chemical analysis of freshwater*. 2ª ed. Oxford: Blackwell Scientifications.
- Graziano, J.S. (1999). *O Novo rural brasileiro*. Campinas: Unicamp.
- Henry, R.; Santos, A.A.N. & Camargo, Y.R. (1999). Transporte de sólidos suspensos, N e P total pelos rios Paranapanema e Taquari e uma avaliação de sua exportação na represa Jurumirim (São Paulo, Brasil). In: Henry, R. *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: Fapesp. p.689-710.
- Hidrogeologia e Planejamento Ambiental. (1995). Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Disponível em: <<http://www.comiteat.sp.gov.br>>. (Acesso: 20 abr. 2005).
- Honda, Y.R.; Mercante, C.T.J.; Vieira, J.M.S.; Esteves, K.E.; Cabianca, M.A.A. & Azevedo, M.T.P. (2006). Cianotoxinas em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Org.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.105-20.
- Huet, M. (1973). *Tratado de piscicultura*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- International Environmental Technology Centre. (2001). *Planejamento e gerenciamento de lagos e represa: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização*. Série de Publicações Técnicas. São Carlos: Rima. p.385.
- Kitamura, P.C.; Lopes, R.B.; Castro JR, F.G. & De Queiroz, J.F. (1999). Avaliação ambiental e econômica dos lagos de pesca esportiva na bacia do Rio Piracicaba. *Boletim Industria Animal*, 56(1):95-107.
- Kubtiza, F. (1999). *Qualidade da água na produção de peixes*. 3ª ed. Jundiaí: USP. p.97.
- Leopoldo, P.R. & Sousa, A.P. (1979). *Hidrometria*. Botucatu: Unesp. p.9.
- MacKereth, J.F.H.; Heron, J. & Talling, J.F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Amblesid, UK: Freshwater Biological Association Scientific publications, n.36.
- Mercante, C.T.J. & Tucci-Moura, A. (1999). A comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11:1-14.
- Mercante, C.T.J.; Cabianca, M.A.; Silva, V.; Costa, S.V. & Esteves, K.E. (2004). Water quality in fee-fishing ponds located in the São Paulo metropolitan region, Brazil: analysis of the eutrophication process. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16(1):95-102.
- Mercante, C.T.J.; Silva, D.; Costa, S.V. (2006). Avaliação da qualidade da água de pesqueiros da região metropolitana de São Paulo por meio do uso de variáveis abióticas e da clorofila a. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Org.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.37-48.
- Mercante, C.T.J.; Martins, Y.K.; Carmo, C.F., Osti, J.S.; Mainardes-Pinto, C.S.R. & Tucci, A. (2007). Qualidade de água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológica, São Paulo, Brasil. *Bioikos*, 21(2):79-88.
- Richter, E.M.; Fornaro, A.; Lago, C.L. & Angnes, L. (2007). Avaliação da composição química de águas do Sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003. *Química Nova*, 30(5):1147-52.
- Sendacz, S.; Monteiro Jr., A.J.; Mercante, C.T.J.; Menezes, L.C.B. & Moraes, J. F. (2005). Sistemas em cascatas:

- concentrações e cargas de nutrientes no sistema produtor Alto Tietê, São Paulo. In: Nogueira, M.G.; Henry, R. & Jorcin, A. *Ecologia de reservatório*. São Carlos: Rima. p.417-34.
- Sipaúba-Tavares, L.H. (1995). *Limnologia aplicada à aquicultura*. Jaboticabal: FUNEP. p.72.
- Sipaúba-Tavares, L.H.; Gomide, F.B. & Oliveira, A. (1998). Dynamic limnological variables studied in two fish ponds. *Brazilian Journal of Ecology*, 2:90-6.
- Sztibe, R. & Sena, L.B.R. (2004). *Gestão Participativa das águas*. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente.
- Takino, M. & Cipolli, M.N. (1988). Caracterização Limnológica em tanques de cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus*: parâmetros físicos, químicos e clorofila a. *Boletim do Instituto de Pesca*, 15(2):237-45.
- Thomaz, S.M.; Roberto, M.C.; Lansac-Tôha, F.A.; Lima, A.F. & Esteves, F.A. (1992). Características limnológicas de uma estação de amostragem do Alto Rio Paraná e outra do Baixo Rio Ivinheima. *Acta Limnológica Brasiliensis*, 4(1):32-51.
- Toledo Jr, A.P.; Talarico, M.; Chinez, S.J. & Agudo, E.G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*, 1983, Rio de Janeiro. v.1.
- Tundisi, J.G. (1990). Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Revista Brasileira de Biologia*, 50(4):937-55.
- Valenti, W.C. (2000). *Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável*. Brasília: CNPq. p.303-22.
- Venturieri, R. (2002). *Pesque-pague no Estado de São Paulo*. São Paulo: Eco-Associação para Estudos do Ambiente. p.168.
- Vinatea, L. (1997). *Princípios químicos da qualidade da água em aqüicultura*. São Carlos: UFSC.
- Wetzel, R.G. (1993). *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. p.919.

Recebido em: 29/10/2009

Versão final reapresentada em: 28/5/2010

Aprovado em: 13/7/2010