

Eutrofização em reservatórios – Estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES)

Eutrophication in reservoirs – Case study: reservoir of Rio Bonito (ES)

Priscilla Basilio Cardoso Barros Trindade¹, Antônio Sérgio Ferreira Mendonça²

RESUMO

O reservatório da Pequena Central Hidrelétrica de Rio Bonito, localizado na bacia do Rio Santa Maria da Vitória, no Estado do Espírito Santo, Brasil, é um dos principais mananciais de abastecimento da região metropolitana da Grande Vitória e recebe aporte de nutrientes provenientes de esgotos domésticos, cultivos agrícolas e granjas. O presente estudo tem como objetivo analisar as condições do referido 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, a montante e a jusante. Além disto, procurou-se verificar a influência de precipitações pluviométricas e sazonalidade sobre a classificação relativa a estados tróficos. 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 e da OECD, além de IETs de Carlson e de Lamparelli. Concluiu-se que diferentes modelos podem resultar em diferentes classes de níveis de trofia e que precipitações pluviométricas e sazonalidade apresentam grande influência na classificação. Dessa forma, é de grande importância a escolha de modelos e índices adequados às condições do clima e dos corpos hídricos de interesse. Além disso, foi verificado que o ponto situado a jusante do reservatório apresentou melhores condições qualitativas do que o situado à montante. Isso indica que o reservatório pode estar funcionando, indevidamente, como uma lagoa de estabilização.

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

ABSTRACT

The Rio Bonito Hydropower Plant reservoir is located in the Santa Maria da Vitória River watershed, state of Espírito Santo, Brazil, a major water supply source for the Great Vitória metropolitan region. This river receives significant nutrient input from domestic sewage, agricultural crops, farms and piggeries. The study presents as main objective the analysis of the conditions of the cited water body, considering eutrophication aspects, for the hydrological year from October 2008 to September 2009, based on the results from bimonthly water quality monitoring developed within, upstream and downstream the reservoir. It was verified the influence of rainfall and seasonality on different water bodies trophic states classification methods. Trophic state classification was made according to Trophic State Index (TSI) and different mathematical models, including Salas and Martino, OECD, and Carlson and Lamparelli models. It was concluded that different classification models may result in different trophic level classes and that rainfall and seasonal conditions present large influence on the classification. Thus, it is very important the choice of models and indices according to the region weather and water bodies conditions. It was also concluded that water from the river monitored point located downstream the reservoir presented better quality than that from point located upstream, indicating that the reservoir may be working, improperly, as a stabilization pond.

Keywords: eutrophication; mathematical models; nutrients; reservoir.

INTRODUÇÃO

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 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, 1991).

A eutrofização é um problema que ocorre em vários corpos d'água localizados no Brasil, inclusive 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 d'água. Os principais efeitos da eutrofização são: anaerobiose no corpo d'água, mortandade

¹Mestra em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Vitória (ES), Brasil.

²Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos - Colorado State University (1987) e pós-doutor no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Cornell University, em Nova York (EUA).

Endereço para correspondência: Priscilla Basilio Cardoso Barros Trindade - Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras - 29075-910 - Vitória (ES), Brasil -

E-mail: priscillabasilio@gmail.com

Recebido: 22/08/12 - **Aceito:** 07/01/14 - **Reg. ABES:** 537

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).

Dois exemplos de estudos do grau de trofia em corpos hídricos lênticos foram realizados por Moschini-Carlos *et al.* (2007) e Starling (2003). Moschini-Carlos *et al.* (2007) estudaram o reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba, São Paulo) por meio do Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), o qual classificou as águas em um ponto de monitoramento como eutróficas. Starling (2003) fez a avaliação do estado trófico do lago Paranoá, localizado em Brasília, por meio das curvas de probabilidade das classificações de estado trófico de Salas e Martino (1991). Os resultados do estudo indicaram a restauração da qualidade de água do lago Paranoá, que se apresentava altamente eutrofizado.

O Rio Santa Maria da Vitória é um dos principais mananciais de abastecimento público da região metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo. 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 e 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 (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 de 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.

O presente estudo possui como objetivos analisar as condições do reservatório de Rio Bonito, quanto a aspectos relacionados com a eutrofização,

para o ano hidrológico outubro de 2008 a setembro de 2009; verificar a influência de precipitações pluviométricas e sazonalidade sobre a classificação relativa a estados tróficos e classificar as águas do reservatório de acordo com diferentes modelos matemáticos e IETs, incluindo modelos de Salas e Martino (1991) e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD (1982) e IETs de Carlson (1977) e de Lamparelli (2004).

METODOLOGIA

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 a 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).

Resultados de monitoramento limnológico de qualidade de água, pluviometria e fluviometria realizados na área de influência da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de Rio Bonito foram obtidos junto à empresa EDP - Escelsa, que gerencia o aproveitamento hidrelétrico no estado do Espírito Santo. 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 *South American Datum* (SAD) – 69 dos pontos de monitoramento estão apresentadas na Tabela 1.

A Figura 1 apresenta um mapa com a localização da PCH. A Figura 2 apresenta os pontos de monitoramento limnológico e de qualidade de água, na área de influência da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito em UTM SAD – 69.

As precipitações pluviométricas e as vazões mensais registradas em 2008 e 2009 foram obtidas no posto pluviométrico 6 (*Datum* WGS84, Código 02040047, Coordenadas 7.782.153,9; 317.223,9), situado próximo do reservatório e no posto fluviométrico 7 (*Datum* WGS84, Código 57118080, Coordenadas 7.782.147,8; 317.228,9), localizado no Rio Santa Maria da Vitória, em seção localizada a montante do mesmo corpo d'água.

Os pontos de monitoramento 1, 3 e 7 se localizam em ambientes lóticos (Rio Santa Maria da Vitória), enquanto que os pontos 2, 4 e 5 se localizam em ambiente lêntico (interior do reservatório). As coletas de amostras foram realizadas nas proximidades da superfície da água.

Modelos matemáticos foram comparados e utilizados para análise das condições de eutrofização do reservatório. Foram aplicados o modelo de Salas & Martino (1991), a curva de distribuição probabilística de estado trófico (SALAS e MARTINO, 1991), o IET de Carlson (1977) e o IET modificado por Lamparelli (2004), além da classificação trófica segundo a OECD (1982).

Tabela 1 – Pontos de monitoramento da EDP - UTM *South American Datum* - 69.

Ponto	Localização	Latitude	Longitude
1	Rio Santa Maria da Vitória, a montante do reservatório	7783.469	319.403
2	Interior do reservatório, próximo à barragem	7781.626	327.489
3	Rio Santa Maria da Vitória a jusante da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito	7780.746	329.067
4	Interior do reservatório, na zona de maior dinâmica de escoamento	7782.899	326.973
5	Interior do reservatório, na zona de menor dinâmica de escoamento	7784.243	325.575

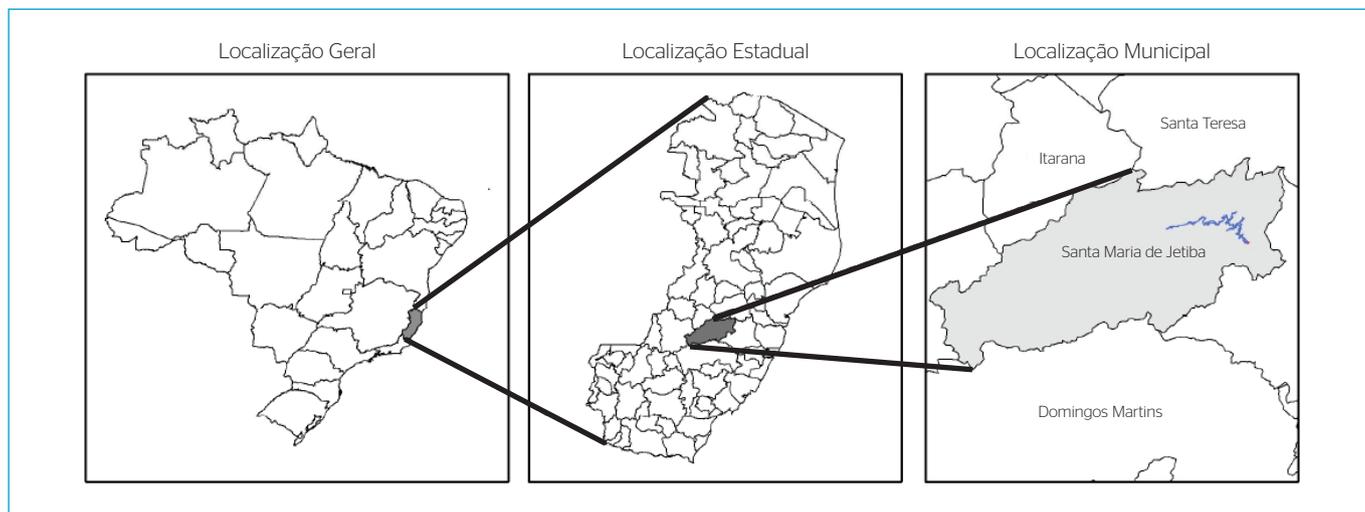


Figura 1 - Mapa com a localização da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito.

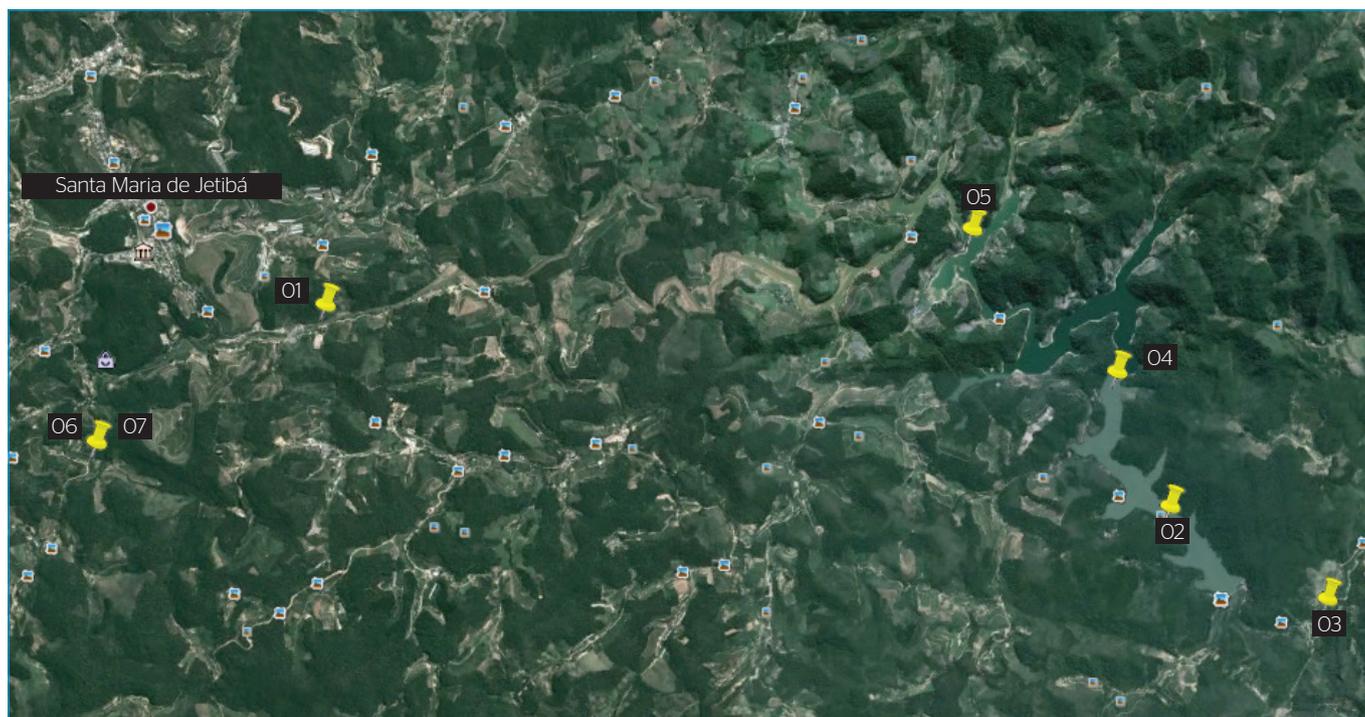


Figura 2 - Mapa com a localização dos pontos de monitoramento limnológico da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito.

A Equação 1 foi desenvolvida por Salas e Martino (1991):

$$P_{\lambda} = \frac{L(P)}{\bar{Z}/T_w(1+2\sqrt{T_w})} \quad (1)$$

na qual,

P_{λ} = fósforo total (mg/L)

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

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

T_w = tempo de detenção (ano)

O IET (CARLSON, 1977) 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 transparência da água (Equação 2), clorofila *a* (Equação 3) e fósforo total (Equação 4), sendo:

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

na qual:

DS =transparência da água medida através de disco de Secchi (m)
 $\ln DS$ =logaritmo neperiano da transparência da água medida através de disco de Secchi (m)
 $\ln 2$ =logaritmo neperiano de 2

$$IET(cia) = 10 \left(6 - \left(\frac{2,04 - 0,68 \ln Cia}{\ln 2} \right) \right) \quad (3)$$

na qual:

$\ln Cia$ =logaritmo neperiano da clorofila a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 $\ln 2$ =logaritmo neperiano de 2

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln 48 / PT}{\ln 2} \right) \right) \quad (4)$$

na qual:

$\ln PT$ =logaritmo neperiano de fósforo total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
 $\ln 2$ =logaritmo neperiano de 2

O IET representa a capacidade dos lagos de dobrar a biomassa algal, isto é, as algas, que por meio do consumo de nutrientes, se multiplicam e dobram, em quantidade. 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 a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do Índice de Estado Trófico de Carlson.

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

IET: índice de estado trófico.

As Equações 5 a 7 foram propostas por Lamparelli (2004) para o cálculo de IETs para fósforo total, para clorofila *a* e o IET global. A Equação 7 inclui os resultados das Equações 5 e 6.

$$IET (PT) = 10x(6 - (1,77 - 0,42x(\ln PT)/\ln 2)) \quad (5)$$

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

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 \quad (7)$$

nas quais:

PT =fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

CL =clorofila total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

\ln =logaritmo natural

A Tabela 3 apresenta as classes de IET modificado por Lamparelli (2004), de acordo com a transparência, concentrações de fósforo total e clorofila *a*, e ponderação.

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 & MARTINO, 1991). Na classificação dos estados tróficos foram considerados aspectos estéticos, florações de algas, presença de macrófitas, além de dados de fósforo total.

Para o desenvolvimento da curva, foi assumida a distribuição normal para o logaritmo dos dados de fósforo, sendo aplicada a Equação 8:

$$Y = \frac{1e^{-1/2(x-\mu)^2 / \sigma_s^2}}{\sigma_s \sqrt{2} \pi} \quad (8)$$

na qual,

Y = log da distribuição normal de probabilidade

x = parâmetro (log do fósforo total, P)

μ = média

σ_s = desvio padrão

Tabela 3 - Classificação segundo o índice de estado trófico modificado por Lamparelli.

Categoria estado trófico	Ponderação	Transparência S(m)	P-total ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Clorofila <i>a</i> ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
U	$IET \leq 47$	$S \geq 2,4$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
O	$47 < IET \leq 52$	$2,4 > S \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
M	$52 < IET \leq 59$	$1,7 > S \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
E	$59 < IET \leq 63$	$1,1 > S \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
SE	$63 < IET \leq 67$	$0,8 > S \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
HE	$IET > 67$	$0,6 > S$	$233 < P$	$69,05 < CL$

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico; SE: supereutrófico; HE: hipereutrófico.

Através da aplicação da fórmula de Bayes e Blank (1980, *apud* SALAS & MARTINO, 1991), para cada uma das categorias logarítmicas da distribuição normal (Equações 9 e 10) resultou a curva de distribuição probabilística (Figura 3).

$$P(CT_i / X) = \frac{P(CT_i) \cdot P(X / CT_i)}{\sum P(CT_i) \cdot P(X / CT_i)} \quad (9)$$

$$\frac{P(X / CT_i)}{\sum P(X / CT_i)} = \frac{Y(CT_i)}{\sum Y(CT_i)} \quad (10)$$

nas quais:

CT_i = categorias de estado trófico

X = logaritmo de PT

$P(X / CT_i) = Y(CT_i)$ = distribuição normal de probabilidade

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

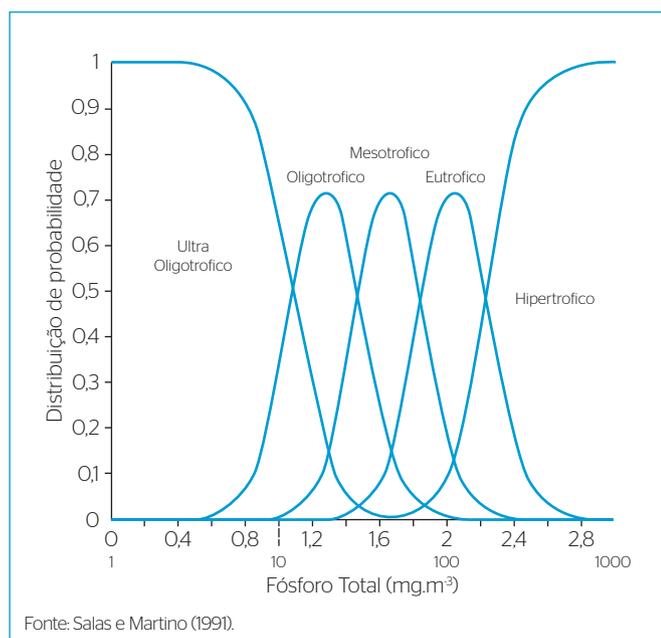


Figura 3 - Distribuição da probabilidade de nível trófico de lagos de clima tropical baseados em fósforo total.

A Tabela 4 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* segundo a OECD (1982).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra valores das precipitações pluviométricas e das vazões mensais registradas em 2008 e 2009 no ponto pluviométrico (*Datum* WGS84, Código 02040047, Coordenadas 7.782.153,9; 317.223,9) situado próximo ao reservatório e no posto fluviométrico (*Datum* WGS84, Código 57118080, Coordenadas 7.782.147,8; 317.228,9) localizado no Rio Santa Maria da Vitória, em seção localizada a montante do mesmo corpo d'água.

As precipitações anuais foram 1136 mm e 1472 mm, em 2008 e 2009, respectivamente. As precipitações médias mensais foram 94,63 mm e 122,67 mm, em 2008 e 2009, respectivamente.

Os meses apresentando maiores precipitações pluviométricas foram novembro (227,9 mm) e dezembro (244,5 mm) de 2008 e janeiro (283,3 mm), outubro (383 mm) e dezembro (269,7 mm) de 2009. Os meses apresentando menores precipitações pluviométricas foram junho (9,4 mm), julho (2,7 mm) e agosto (9,4 mm) de 2008. As vazões médias correspondentes aos anos de 2008 e 2009 corresponderam a 3,63 m³.s⁻¹ e 6,43 m³.s⁻¹, 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⁻¹, 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⁻¹, respectivamente.

A Tabela 5 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*.

A campanha de dezembro de 2008 apresenta elevada precipitação pluviométrica, foi aquela onde 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.

Tabela 4 - Categorias tróficas segundo a OECD.

Categorias Tróficas	PT (µg.L ⁻¹)	Cl a (µg.L ⁻¹)	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

Fonte: OECD (1982 *apud* LAMPARELLI, 2004).

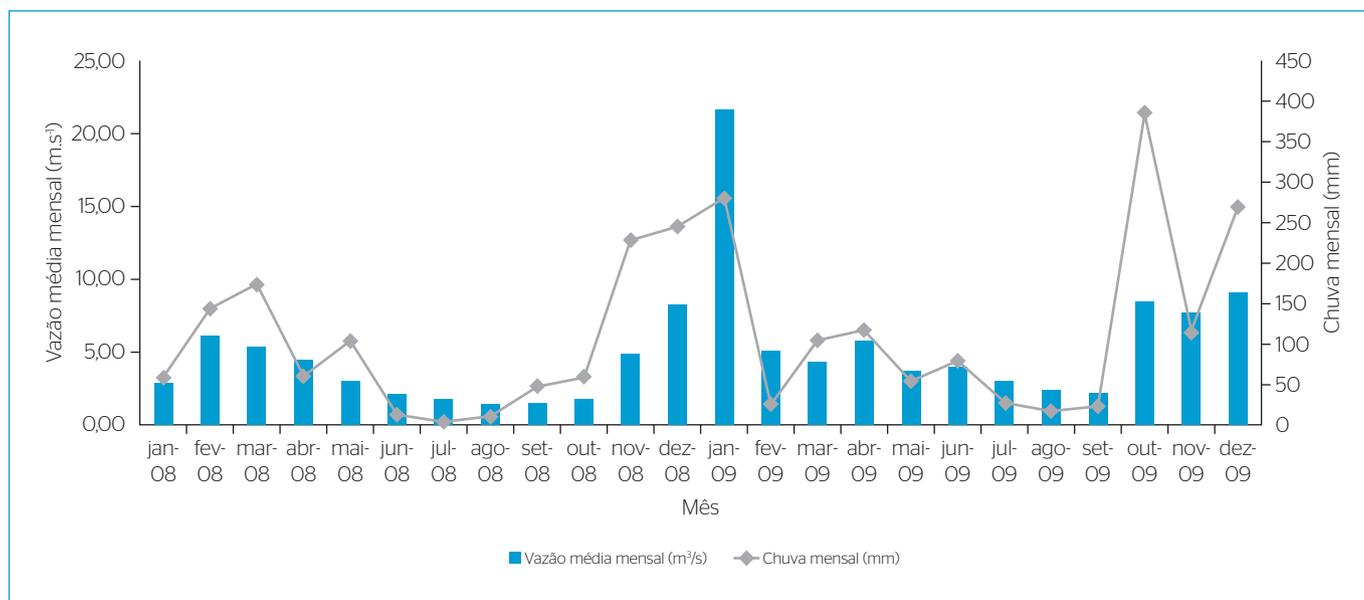


Figura 4 - Vazões afluentes e precipitações pluviométricas mensais nos anos de 2008 a 2009.

Tabela 5 - Classificação trófica do reservatório de Rio Bonito de outubro/2008 até agosto/2009.

	PT (mg.L ⁻¹)	SM2	(PT)1	(Cla)1	IET1	(PT)2	(Cla)2	IET2	(PT)3	(Cla)3
Ponto 2										
Out 2008	0,0197	O	E	O	E	M	UO	O	M	O
Dez 2008	0,0298	M	E	O	E	M	UO	O	M	UO
Fev 2009	0,0088	UO	E	M	E	O	M	O	O	M
Abr 2009	0,017	O	E	M	E	O	M	M	M	M
Jun 2009	0,01	UO	E	M	M	O	M	O	O-M	M
Ago 2009	0,01	UO	E	O	O	O	UO	UO	O	UO
Ponto 5										
Out 2008	0,0254	O	E	O	E	M	O	M	M	O
Dez 2008	0,0634	M	E	M	E	E	M	M	E	M
Fev 2009	0,0088	UO	E	M	E	O	M	O	O	M
Abr 2009	0,009	UO	E	M	E	O	M	O	O	M
Jun 2009	0,013	UO	E	M	M	O	M	O	M	M
Ago 2009	0,001	UO	UO	O	O	UO	O	UO	UO	O
Ponto 6										
Out 2008	0,0558	M	E	M	E	E	M	M	E	M
Dez 2008	0,0672	M	E	M	E	E	O	M	E	M
Fev 2009	0,0088	UO	E	M	E	O	M	O	O	M
Abr 2009	0,023	O	E	E	E	M	E	M	M	E
Jun 2009	0,012	UO	E	O	M	O	O	O	M	O
Ago 2009	0,004	UO	M	UO	O	UO	UO	UO	UO	UO

SM2: curva de probabilidade de Salas & Martino (1991); (PT)1: fósforo total de Carlson (1977); (Cla)1: clorofila *a* de Carlson (1977); IET1: índice de estado trófico de Carlson (1977); PT2: fósforo total Lamparelli (2004); Cla2: clorofila *a* de Lamparelli (2004); IET2: índice de estado trófico de Lamparelli (2004); PT3: fósforo total da OECD (1982); Cla3: clorofila *a* da OECD (1982); UO: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico.

Por outro lado, a campanha de agosto de 2009, para a qual foram registradas as menores vazões e precipitações nos períodos anteriores às 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.

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). Os outros momentos foram classificados como ultraoligotróficos e 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 e 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 abiogênico em suspensão (material de origem inorgânica, 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), os IETs de Lamparelli (2004) e Carlson (1977) apresentaram comportamentos semelhantes relativos às classificações segundo a variação das concentrações de fósforo total e clorofila *a*. Nos meses de outubro e dezembro de 2008, a concentração de fósforo total estava maior e o nível de trofia também, a concentração de clorofila *a* estava menor e a classificação trófica também. Nas campanhas seguintes houve uma tendência de 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 consequente multiplicação (VON SPERLING, 2005).

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

O IET de Carlson (1977) foi desenvolvido considerando ambientes temperados, os resultados podem ter sido superestimados como em outros trabalhos realizados em ambientes tropicais. Outros pesquisadores (SALAS & MARTINO, 1991; SILVA & MENDONÇA, 1997; SANTOS & 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. Considerando que ambientes tropicais, devido a maiores temperaturas, apresentam maior capacidade de assimilação de fósforo que os temperados, e os padrões de circulação são fundamentais nesse caso, uma vez que lagos e reservatórios tropicais apresentam perdas significativas de fósforo para o sedimento via precipitação de fosfato férrico (SANTOS & FLORÊNCIO, 2001).

O IET de Lamparelli (2004) foi desenvolvido a partir de dados de reservatórios e rios de São Paulo e engloba dois parâmetros importantes que se correlacionam com o surgimento de algas e plantas aquáticas, fósforo total e clorofila *a*, enquanto que o de Salas e Martino (1991) considera a carga afluente de fósforo total. Considerando que os municípios próximos ao reservatório são em sua maioria rurais, pequena parte da 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 apresenta florações, necessitando de monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

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.

Considerando que o IET modificado por Lamparelli (2004) baseou-se em rios e reservatórios localizados no Brasil, país de clima tropical, e que a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (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 classificação de estado trófico, segundo os diversos modelos e índices, considerando os resultados de cada campanha de monitoramento variou muito, em função da estação do ano e das precipitações pluviométricas.

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, indevidamente, como uma lagoa de estabilização de efluentes.

CONCLUSÕES

Os resultados de classificação de estado trófico do reservatório de Rio Bonito, através de diferentes modelos matemáticos e IETs indicaram diferentes níveis de trofia. Além disso, as classes de trofia obtidas pelos diferentes modelos variaram em função da estação do ano e das precipitações pluviométricas. Desta forma, é de grande importância a escolha de modelos e índices adequados às condições do clima e dos corpos hídricos de interesse. A passagem das águas do Rio Santa Maria da Vitória pelo reservatório de Rio Bonito contribui para melhoria de diversos parâmetros de qualidade da água que chega à estação de tratamento de água situada a jusante, para tratamento e posterior abastecimento de grande parte da população da região metropolitana da

Grande Vitória, devido ao fato do reservatório estar funcionando, indevidamente, como uma lagoa de estabilização.

Recomenda-se análise, em longo prazo, dos modelos e índices mais adequados para classificação do estado trófico do reservatório de Rio Bonito. Para melhoria da qualidade de água se faz necessária ampliação da cobertura do município de Santa Maria de Jetibá por coleta e tratamento de esgotos sanitários, devendo ser adotados sistemas de tratamento mais eficientes na remoção de nutrientes, principalmente para aqueles efluentes que contribuem para o reservatório de Rio Bonito. Além disto, é recomendada a coleta, tratamento e reuso de dejetos gerados em granjas e pocilgas localizadas na bacia hidrográfica do reservatório.

REFERÊNCIAS

- CARLSON, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-380.
- CSMJ - Consorcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. (1997) Diagnostico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. 1995. *Volume I - Ecossistemas aquáticos interiores e recursos hídricos*. Rio de Janeiro: Habtec Engenharia Sanitaria e Ambiental.
- KRATZER, C.R. & BREZONICK, P.L.A. (1981) A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources Bulletin*, v. 17, p. 713-714.
- LAMPARELLI, M.C. (2004) *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 238 p.
- MOSCHINI-CARLOS, V.; PEDRAZZI, F.J.M.; CONCEIÇÃO, FT.; POMPÊO, M.L.M. (2007) Qualidade da água do reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba - SP), gradiente espacial vertical. In: *VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Anais do...* Minas Gerais: SEB. p.1-2.
- OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (1982) *Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control*. Paris: OECD. 154 p.
- PORTO, R.L.L. (Org.). (1991) *Hidrologia Ambiental*. 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.3. 411 p.
- RUBIM, K.T. (2006) *Comunidade fitoplanctônica e variáveis limnológicas no reservatório de Rio Bonito - Rio Santa Maria da Vitória (Santa Maria de Jetibá - ES)*. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- SALAS, H. & MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, v. 25, n. 3, p. 341-350.
- SANTOS, K.P. & FLORÊNCIO, L. (2001) 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*. Saneamento Ambiental: desafio para o século 21. Resumo de trabalhos técnicos. João Pessoa, PB.
- SILVA, L.H. & MENDONÇA, A.S. (1997) Avaliação qualitativa da lagoa Jacuném, com ênfase em eutrofização. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19, Foz do Iguaçu.
- STARLING, F.L.R.M. (2003) Avaliação do estado trófico atual do lago Paranoá após estabilização do seu processo de oligotrofização. In: *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Anais... Joinville.
- VON SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Vol 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 452 p.
- XAVIER, C. (2005) *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*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.