

AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DO ESTADO TRÓFICO DE UM RESERVATÓRIO NO NOROESTE PAULISTA

Lisandra Lima^{1} & Brígida Prieto de Souza² & Marcelo Libânio³*

Resumo – O processo de eutrofização atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo o planeta. A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lênticos. Em razão da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento, manutenção da vida aquática e recreação. A eutrofização é utilizada na limnologia para indicar o fenômeno de transformação de lagos para uma maior produtividade biológica. Desta forma, o objetivo deste estudo foi determinar a variação espacial e sazonal do estado trófico em três pontos de coleta em um reservatório localizado no noroeste paulista. Foram selecionados três pontos estratégicos e as coletas foram realizadas em estações seca e chuvosa. As variáveis analisadas foram fósforo total e clorofila-a para o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET). Os resultados do IET para fósforo e clorofila-a não coincidiram e variaram de mesotrófico a oligotrófico na estação chuvosa e oligotrófico e ultraoligotrófico na estação seca. Portanto, pode-se inferir que o reservatório não se encontra em estado de eutrofização.

Palavras-Chave – Eutrofização; qualidade de água e gestão de recursos hídricos.

SEASONAL AND SPATIAL EVALUATION OF TROPHIC STATE OF A RESERVOIR OF SÃO PAULO'S NORTHWEST STATE

Abstract – Eutrophication reaches lakes, reservoirs, rivers and coastal waters in worldwide. Eutrophication means enrichment of water by nutrients, especially nitrogen and phosphorus, leading to excessive growth of aquatic plants, both planktonic and attached, with consequent aquatic ecosystem imbalance and progressive degeneration of the water quality of lentic bodies. As a result of eutrophication, many reservoirs and lakes in the world have already lost their supply capacity, maintenance of aquatic life and recreation. Eutrophication is used in Limnology to indicate the transformation phenomenon of lakes for greater productivity. In this way, the aim of this study was to determine the spatial and seasonal variation of trophic state in three sampling points in a reservoir located in São Paulo's State Northwest. We selected three strategic points along the reservoir and the collections were made in dry and rainy seasons. The analyzed variables were total phosphorus and chlorophyll-a in the calculation of the Trophic State Index (TSI). The results of the TSI to phosphorus and chlorophyll-a not coincided and ranged from an oligotrophic to mesotrophic in the rainy season and an oligotrophic and ultraoligotrophic in the dry season. Therefore, it might infer that the reservoir is not in state of eutrophication.

Keywords – Eutrophication; water quality and water resources management.

¹ Mestranda do programa de pós graduação em Engenharia Civil Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista – UNESP

² Mestranda do programa de pós graduação em Engenharia Civil Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista – UNESP

³ Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

* Autor Correspondente: lisandra-lima@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Os corpos d'água são utilizados de várias maneiras e diversos fins, como abastecimento de água, irrigação de lavouras, lazer e despejo de águas residuais brutas e geração de energia hidrelétrica. A construção de reservatórios num rio causa importantes transformações, incluindo mudanças no canal principal do trecho represado devido a variações nos padrões morfométricos e de fluxo. Consequentemente, reservatórios construídos pelo barramento de rios, especialmente aqueles de grande porte, geralmente são sistemas multi-compartimentais e de grande complexidade espacial e temporal (THORTON, 1990; STRASKRABA *et al.*, TUNDISI *et al.*, 1993).

A influência antrópica nas bacias hidrográficas, incluindo construção de barragens, modifica muitas vezes o fluxo natural de matéria e energia ao longo dos rios, com mudanças no ciclo de nutrientes, especialmente do nitrogênio e do fósforo, e no aporte de substratos orgânicos. Isso afeta diretamente as comunidades aquáticas e leva à necessidade de se avaliar as condições ambientais através de monitoramentos sistemáticos das características físicas e químicas, inclusive para se obter o índice de eutrofização destes reservatórios.

O processo de eutrofização atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo o planeta. A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com consequente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lênticos. Em razão da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento, de manutenção da vida aquática e de recreação (VOLLENWEIDER, 1976). Entretanto, tal fenômeno pode ser natural ou artificial, sendo um processo lento e contínuo, resultante do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais que desgastam e lavam a superfície terrestre. Em condição natural, sem que haja interferência das atividades humanas, lagos profundos e com baixa produtividade biológica sofrem processo de transformação, tornando-se rasos, com alta produtividade biológica e enriquecidos por nutrientes. No entanto, a velocidade de desenvolvimento do processo de eutrofização natural é bastante lenta, ocorrendo em função do tempo (WETZEL, 1983; MARGALEF, 1983; SCHIEWER, 1998). Já o processo artificial é induzido pelo homem e pode ter diferentes origens, como: efluentes domésticos, industriais e atividades agrícolas.

A eutrofização é utilizada na limnologia, para indicar o fenômeno de transformação de lagos para uma maior produtividade biológica (HUTCHINSON, 1957).

Desta forma, a eutrofização pode ou não ser benéfica, aumentando a produtividade primária, tornando o sistema ideal para a presença dos consumidores (zooplâncton, moluscos, crustáceos e peixes), ou causando sérios desequilíbrios com o superpovoamento de algas microscópicas (PADUA, 2000).

O objetivo deste trabalho foi determinar a variação espacial e sazonal do estado trófico em três pontos de coleta no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Engenheiro Sérgio Motta, Porto Primavera-SP, localizada na região noroeste paulista.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudos

Situada próxima aos municípios de Porto Primavera e Rosana no estado de São Paulo, a UHE Engenheiro Sérgio Motta, também chamada de Porto Primavera, está localizada no Rio Paraná, a 28 km a montante da confluência com o Rio Paranapanema. Seu reservatório possui uma profundidade máxima de 20 metros.

Para este estudo, foram selecionados três pontos de amostragens ao longo do reservatório, sendo o ponto P1 localizado no meio do rio à jusante da UHE Eng. Souza Dias (Jupiá); ponto P2 localizado no meio do rio à foz do Rio Verde e ponto P3 localizado no meio do rio à montante da UHE Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera). A Figura 1 apresenta as localizações dos pontos ao longo do reservatório.

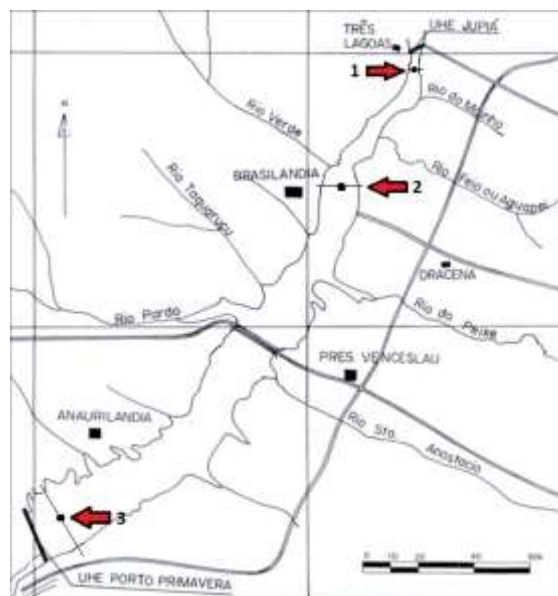


Figura 1: Localização dos pontos de coleta do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera)

Amostragem

As coletas para as análises químicas e físicas foram realizadas nos três pontos de amostragem distribuídos pelo reservatório. Foram realizadas duas coletas na estação seca, nos meses de maio e agosto e duas na estação de chuva, nos meses de novembro e fevereiro do ano de 2012, sendo coletadas amostras de superfície, meio e fundo. Todas as coletas foram realizadas entre as 10 horas da manhã.

As coletas de água foram efetuadas utilizando-se a garrafa de Van Dorn e as amostras foram fixadas com ácido sulfúrico (H_2SO_4), e utilizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira para a determinação das variáveis.

Variáveis

As variáveis para avaliação da eutrofização foram fósforo total e clorofila-a, segundo o método de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).

Para as análises de fósforo total utilizou-se os métodos descritos por Mackeret *et al.* (1978) e para determinação de clorofila-a utilizou-se o método de extração com acetona 90%, descrito por Apha (1998)

As concentrações foram determinadas em cada um dos pontos e em cada estação. Em seguida, calculou-se a média dos valores das concentrações de superfície, meio e fundo, a fim de se obter um valor aproximado da concentração de fósforo total e clorofila-a em cada um dos pontos.

Cálculo do IET (Índice de Estado Trófico)

O IET foi desenvolvido por Carlson (1977), com o objetivo de tornar mais clara a comunicação de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Este método foi desenvolvido a fim de classificar corpos aquáticos em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para o crescimento.

Para o presente estudo, foi utilizado o método de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) para reservatórios.

O valor do índice pode ser calculado separadamente para cada uma das variáveis independente, ou como média dos três valores. Naturalmente, em lagos limitados pelo fósforo ou de alta turbidez mineral, os valores do índice serão diferentes para cada variável.

Para tanto, calculou-se o valor do IET utilizando o fósforo total, a partir da fórmula:

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{(1,77 - 0,42 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right) \quad (1)$$

Onde:

IET (PT)= Índice de Estado Trófico para Fósforo Total

In= Logaritmo na base 10

Em seguida, utilizando a clorofila a, a partir da fórmula:

$$IET(CLa) = 10 \times \left(6 - \frac{(0,92 - 0,34 \times (\ln CLa))}{\ln 2} \right) \quad (2)$$

Onde:

IET (CLa)= Índice de Estado Trófico para Clorofila a

In= Logaritmo na base 10

Por fim, calculou-se o valor do IET, a partir da média dos índices obtidos pela soma do resultado do IET (PT) mais IET(CLa) dividido por dois, como mostrado na fórmula:

$$IET = \frac{[IET(PT) + IET(CLa)]}{2} \quad (3)$$

Onde:

IET= Índice de Estado Trófico

IET (PT)= Índice de Estado Trófico para Fósforo Total

IET (CLa)= Índice de Estado Trófico para Clorofila a

A partir dos resultados obtidos através das fórmulas, utilizou-se o Quadro 1, elaborado por Lamparelli (2004) para categorizar os níveis tróficos.

Quadro 1: Categorias tróficas – IET

Estado Trófico	Critério	P-total (µg/l)	Clorofila-a (µg/l)
Ultraoligotrófico	IET < 47	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET < 52	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET < 59	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET < 63	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET < 67	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hípereutrófico	IET > 67	233 < P	69,05 < CL

Fonte: Lamparelli (2004)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de concentração de fósforo total e clorofila-a foram determinados em cada ponto e para cada estação. Desta forma, a partir da Figura 2, podemos observar que tanto o fósforo total, quanto a clorofila-a apresentaram maiores concentrações no período chuvoso. Isto, devido ao aporte de nutrientes trazidos pela chuva para o reservatório.

De acordo com a Figura 2, também podemos observar que o ponto P2, localizado à foz do Rio Verde possui a maior concentração de fósforo total nos meses de chuva. Já o ponto P1 localizado à jusante da UHE Jupuí apresenta a maior concentração em período de seca. A concentração de clorofila-a apresenta-se maior no ponto P1 nas duas estações. O ponto P3 localizado à montante do reservatório de Porto Primavera possui as menores concentrações de fósforo total e clorofila-a, como observado na Figura 2.

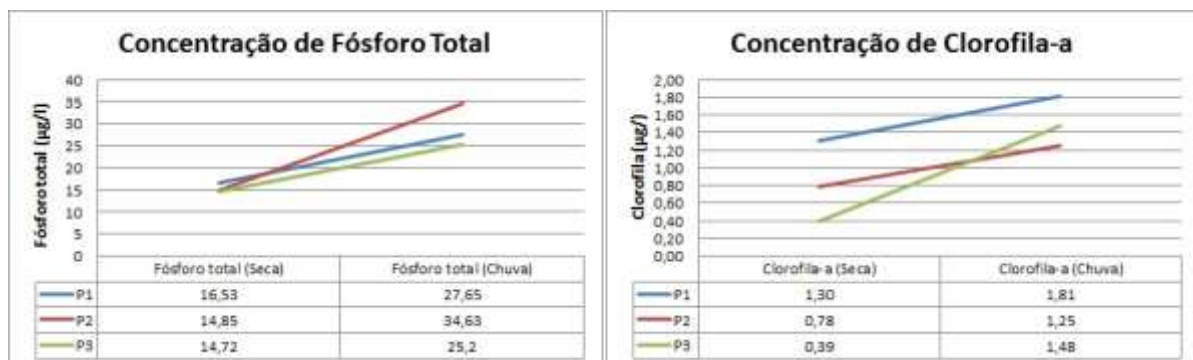


Figura 2: Variação espacial e sazonal da concentração de fósforo total e clorofila-a

Sendo assim, de acordo com a Resolução CONAMA N°357, os pontos P1 e P3 estão de acordo com o estabelecido para o fósforo total para água doce de classe 2, ou seja, até 30µg/l. Já o ponto P2 está em desacordo com a norma, ultrapassando este limite. A Resolução CONAMA N°357 ainda estabelece que para clorofila-a o limite também é de até 30µg/l, sendo assim, todos os pontos estão de acordo com a norma.

A Tabela 1 apresenta as médias das variações de superfície, meio e fundo em todos os pontos, nas duas estações (seca e chuva) e a classificação do IET, segundo Lamparelli (2004).

Tabela 1: Médias das concentrações de fósforo total e clorofila-a em estações seca e chuvosa e classificação do IET Médio

Parâmetros Estação	P1	P2	P3	MÉDIA	IET Médio Total
P-total (µg/l) Chuva	27,65	34,63	25,20	29,16	55 Mesotrófico
P-total (µg/l) Seca	16,53	14,85	14,72	15,36	51 Oligotrófico
Clorofila-a (µg/l) Chuva	1,81	1,25	1,48	1,51	49 Oligotrófico
Clorofila-a (µg/l) Seca	1,30	0,78	0,39	0,82	46 Ultraoligotrófico

De acordo com a Tabela 1, também podemos observar que o IET Médio Total de todos os pontos classificou o reservatório na estação de chuva como mesotrófico e oligotrófico e na estação seca, como oligotrófico e ultraoligotrófico.

Aplicando-se as equações desenvolvidas por Lamparelli (2004), para cálculo do IET, para as concentrações de fósforo total e de clorofila-a, foi possível determinar o nível trófico de cada ponto de coleta, para as duas estações, de seca e chuva.

A Tabela 2 apresenta a classificação do IET para o ponto P1.

Tabela 2: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET), segundo Lamparelli (2004) para o ponto P1

P1	IET (PT)	Classificação	IET(CLa)	Classificação	IET Médio
Chuva	55	Mesotrófico	50	Oligotrófico	52
Seca	51	Oligotrófico	48	Oligotrófico	50

Portanto, tem-se que o ponto P1 foi classificado como mesotrófico e oligotrófico, respectivamente, nas estações chuvosa e seca, de acordo com o fósforo total; e oligotrófico, de acordo com a clorofila-a, nas duas estações. O ponto P1 ainda apresentou IET Médio classificado como mesotrófico na estação de chuva e oligotrófico na estação seca.

A Tabela 3 apresenta a classificação do IET para o Ponto P2.

Tabela 3: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET), segundo Lamparelli (2004) para o ponto P2

P2	IET (PT)	Classificação	IET(CLa)	Classificação	IET Médio
Chuva	56	Mesotrófico	48	Oligotrófico	52
Seca	51	Oligotrófico	45	Ultraoligotrófico	48

De acordo com a Tabela 3, o ponto P2 foi classificado como mesotrófico, de acordo com o fósforo total na estação chuvosa e oligotrófico na estação seca. O cálculo do IET para a clorofila-a classificou o ponto P2 como oligotrófico e ultraoligotrófico para as estações de chuva e seca, respectivamente. O IET Médio para o ponto P2 foi classificado como oligotrófico nas duas estações.

A Tabela 4 apresenta a classificação do IET para o ponto P3.

Tabela 4: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET), segundo Lamparelli (2004) para o ponto P3

P3	IET (PT)	Classificação	IET(CLa)	Classificação	IET Médio
Chuva	54	Mesotrófico	49	Oligotrófico	51
Seca	50	Oligotrófico	42	Ultraoligotrófico	46

O ponto P3 apresentou índices semelhantes ao ponto P2, sendo que, o fósforo total e a clorofila-a determinaram as mesmas classificações para cada estação. No entanto, o IET Médio para o ponto P3 apontou para a classificação oligotrófico na estação chuvosa e ultraoligotrófico na estação seca.

Conforme os resultados apresentados pelas tabelas, os pontos apresentaram semelhanças na classificação do IET, sendo que, em todos eles, o fósforo determinou estado mesotrófico para a estação de chuva e oligotrófico para a estação de cheia, em todos os pontos. Já a clorofila-a determinou estado oligotrófico para todos os pontos na estação de chuva e ultraoligotrófico para as estações de seca, sendo que, somente o ponto P1 foi classificado como oligotrófico nesta estação. Isto significa que há um pequeno aporte de nutrientes na estação chuvosa, mas não permite classificar como um processo de eutrofização, como também observou Bem (2009) em seu estudo de determinação do estado de eutrofização do Lago Barigui, em Curitiba-PR.

Segundo Lamparelli (2004), em um corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-a coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a irá refletir este fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo. Desta forma, é possível afirmar que o reservatório de Porto Primavera pode apresentar fatores limitantes do processo de eutrofização, pois os valores de IET(PT) são maiores que os valores de IET(Cla) em todos os pontos. Silva *et al.* (2009) também observaram este fenômeno a partir dos estudos realizados com o nível de trofia do Reservatório de Itaparanga-SP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do IET(PT), em relação aos três pontos e duas estações, permitiu classificar o sistema em categorias que variavam de mesotrófico a oligotrófico, enquanto o IET(Cla) variou de ultraoligotrófico a oligotrófico. O método mostrou ser de fácil aplicação para o monitoramento da qualidade de corpos d'água.

A análise dos resultados também permitiu inferir a possibilidade da presença de fatores limitantes do processo de eutrofização, que pode estar relacionado a outros fatores, o que é comum de se observar em lagos reservatórios. Todavia, somente a partir da análise da correlação com outros parâmetros é que poderá ser constatada esta sugestão.

Portanto, pode-se inferir que o sistema não se encontra em processo de eutrofização, pois os resultados das categorias tróficas do IET(PT) e IET(Cla) não indicam eutrofização, mas sim um pequeno aporte de nutrientes na estação chuvosa, o que é comum de se ocorrer nos corpos d'água neste período.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA *et al.* Vulnerabilidade Ambiental à Eutrofização: Reservatório Carangueja. In *Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 2008.

APHA; AWWA; WPC – American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20ª Ed., 1998.

BEM, C. C. *Determinação do estado de eutrofização de um lago raso: Estudo de caso do Lago Barigui-Curitiba*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

- CARLSON, R.E. *A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, p. 361 – 369.
- HUTCHINSON, G.E. *A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry*. V.1, New York, 1957. John Wiley & Sons. 1.015p.
- LAMPARELLI, M. C. *Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento*. 238 p. Tese (Doutorado)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. *Eutrofização e Qualidade da Água na Piscicultura*. Boletim Instituto de Pesca, São Paulo. 149-163 p., 2010.
- MACKERETT, F. I. H. *et al. Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Freshwater Biological Association, 1978. 121 p.
- MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: 1983, Editora Ômega, 1010p.
- PÁDUA, H. B. Principais variáveis físicas e químicas da água na aquicultura. In: *Anais do Workshop sobre qualidade de água na aquicultura*, Pirassununga, 2000. p. 17-23.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- SCHIEWER, U. 30 years' eutrophication in shallow brackish waters - lessons to be learned. *Hydrobiology*, Netherlands, 1998, p. 73-79.
- SILVA, A. A. M. J. *et al. Avaliação sazonal e espacial do estado trófico do reservatório de Itupararanga-sp*. In *Anais do XXI Congresso de Iniciação Científica da Unesp*, 2009.
- STRASKRABA, M. *et al. State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1993, p. 213-288.
- THORNTON, W. K. Perspectives on reservoir limnology. New York. *John Wiley & Sons*, 1990, p. 1-13.
- TUNDISI, J. G. *et al. Limnology and management of reservoirs in Brazil*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1993, p. 25-55.
- VOLLENWEIDER, R. A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, Milano, 1976, v. 33, p. 53-83.
- WETZEL, R.G. *Limnology*. EUA, 1983. W. B. Saunders Company. 743p.