



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AValiação da Qualidade da Água do Reservatório Pedra do Cavalo de acordo com o Índice de Estado Trófico (IET)

Alice Mara Ferreira da Conceição Santana¹; Alessandra Cristina Silva Valentim²

RESUMO – Reservatórios são importantes ferramentas no gerenciamento do sistema fluvial, solucionando o problema de falta d'água e servindo a múltiplos usos. O reservatório Pedra do Cavalo, localizado no Recôncavo da Bahia, é usado principalmente para abastecimento de água e geração de energia. A eutrofização pode reduzir a qualidade de suas águas, interferindo negativamente nos seus usos e na vida de milhões de pessoas. O presente trabalho, se valendo de resultados da literatura, calculou o Índice de Estado Trófico para fósforo total, clorofila *a* e para o lago, como proposto por Lamparelli (2004). Os resultados indicam que o lago está enriquecido com nutrientes (IET eutrófico), e há alta limitação da produtividade de fitoplâncton, uma vez que o resultado para fósforo foi superior ao resultado de clorofila *a* (IET_{Pt} supereutrófico, IET_{Cl-a} mesotrófico). Entretanto, ao comparar os valores encontrados com aqueles estabelecidos como limites das classes, o IET_{Pt} é, em sua maioria, mesotrófico, bem como o IET_{Cl-a}, indicando normalidade na produtividade do fitoplâncton. Para os valores máximos e mínimos encontrados, percebe-se uma ampla variação nas classes, o que pode ser explicado pela sazonalidade do regime de chuvas na região do lago.

ABSTRACT– Reservoirs are important tools in the management of the river system, solving the problem of water shortage and serving multiple uses. The Pedra do Cavalo Reservoir, located in the Recôncavo of Bahia, is primarily used for water supply and energy generation. Eutrophication can reduce the quality of its waters, negatively interfering in their uses and in the lives of millions of people. This paper, using the results obtained on the literature review, calculated the Trophic State Index (IET) for total phosphorus, chlorophyll *a*, and for the lake, as proposed by Lamparelli (2004). The results indicate that the lake is enriched with nutrients (eutrophic IET), and high limitation for productivity by phytoplankton, since the result to phosphorus was superior to chlorophyll *a*

¹) Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Rua Marechal Floriano Peixoto, 118, Muritiba, Bahia, Brasil. Tel: (75) 9189-5143. E-mail: alicefcsantana@yahoo.com.br.²) Engenheira Sanitarista ; Professora da UFRB. Rua L, 156, Inocoop, Cruz das Almas/BA-Brasil. Tel: (71) 91782676. E-mail: alessandra@ufrb.edu.br.

(supereutrophic IETPt, mesotrophic IETCl-a). However, when comparing the values obtained with those established as class boundaries, the IETPt is mostly mesotrophic, as well as IETCl-a, indicating normality in phytoplankton productivity. For the maximum and minimum values found, we can see a wide variation in classes, which can be explained by the seasonality of rainfall in the lake region.

Palavras-Chave – Indicadores de qualidade, eutrofização, ambientes lênticos.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país está atrelado à necessidade de expansão das mais diversas atividades econômicas, aumentando a demanda d'água em regiões de abundância, como também de escassez hídrica. Visando diminuir as disparidades na distribuição de recursos hídricos pelo país, a construção de reservatórios se apresenta como uma alternativa capaz de satisfazer as demandas, bem como privilegiar os múltiplos usos da água, como previsto nos fundamentos da Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997).

A Barragem Pedra do Cavalo localiza-se no Recôncavo Baiano, a 120 km da capital, Salvador. Possui volume de armazenamento máximo normal de 4,631 km³ na cota 120 m, e área de drenagem de 53.650 km² (Andrade *et al.*, 2007). Foi construída na década de 80, na parte baixa da bacia do Rio Paraguaçu, tendo como principais objetivos controlar as cheias que assolavam os municípios ribeirinhos, contribuir para o abastecimento humano e irrigação. Transformações econômicas e sociais ao longo do anos colocaram a geração de energia como uma das principais funções do reservatório, e, a partir de 2005, a barragem passou a ser operada também como usina hidrelétrica, dando origem ao Complexo Pedra do Cavalo.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento S. A. (EMBASA) opera neste reservatório a Estação Elevatória de Água Bruta – EEAB, principal responsável pelo abastecimento de água de Salvador e região metropolitana, além de outras cidades baianas, atendendo uma população estimada de cerca de 3,9 milhões de habitantes (Andrade *et al.*, 2007). Composto o Complexo Pedra do Cavalo, há ainda a Usina Hidrelétrica operada pelo Grupo Votorantim, com produção anual suficiente para abastecer uma cidade de 250 mil habitantes (Genz, 2006). A prioridade de uso

é o abastecimento humano, o que limita a atividade da usina hidrelétrica. Apesar de predominantes, as atividades realizadas no Complexo não esgotam os usos das águas do reservatório. Pedra do Cavalo ainda é fonte de recurso para aquicultura, irrigação, descarga de efluentes, dessedentação animal, abastecimento industrial, recreação, entre outros usos.

A abundância não deve ser o único aspecto observado para determinar a disponibilidade dos recursos hídricos: a qualidade da água limita o seu aproveitamento. Um dos principais agentes capazes de degradar a água de lagos e reservatórios é o processo de eutrofização, caracterizado pelo crescimento explosivo de algas e plantas aquáticas, desfavorecendo os diversos usos da água. Este processo é desencadeado principalmente pelo enriquecimento por nutrientes fósforo e nitrogênio num corpo d'água, que é intrínseco ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica (Von Sperling, 2005). A interferência humana potencializa a eutrofização dos reservatórios, e desordena as dinâmicas das comunidades aquáticas (Azevedo-Neto, 1988 *apud* Pompêo, 20--?).

Diversos efeitos negativos podem ser observados no corpo d'água em decorrência da eutrofização. Muitos lagos e reservatórios do mundo já tiveram suas atividades comprometidas em decorrência deste problema, levando à perda da capacidade de abastecimento da população, recreação, pesca, e até mesmo a geração de energia (Cardoso, 2011).

Tais problemas demandam um adequado gerenciamento. É necessário um grande número de informações consistentes, o que pode dificultar a comunicação com o poder público e a população leiga. Indicadores de qualidade são ferramentas capazes de sintetizar dados de forma objetiva, facilitando a comunicação com o público e a comparação entre diferentes corpos d'água. Dentre os principais indicadores de qualidade da água usados no Brasil, o Índice de Estado Trófico (IET) classifica o corpo d'água em diferentes graus de trofia, utilizando como dados de entrada os parâmetros fósforo total, clorofila *a* e transparência. O IET não traduz necessariamente a degradação da qualidade da água causada pela eutrofização, mas sim o seu potencial para tal. (ANA, 2012).

O índice de estado trófico proposto por Carlson em 1977 é um dos mais aceitos no mundo, contudo, a quantificação deste trata de lagos temperados, nos quais a capacidade de assimilação do fósforo é menor do que em lagos de regiões tropicais (Von Sperling, 2005). Explica-se assim a necessidade de propor um índice diferenciado para regiões de clima tropical, o que foi feito por Toledo em 1984, e Lamparelli em 2004.

Ao subsidiar as mais diversas ações que levarão ao desenvolvimento regional, os reservatórios causarão interferência em seu próprio ecossistema (Jorgensen e Vollenweider, 2000), provocando diminuição na qualidade da água, e estimulando ações que propiciem o gerenciamento adequado daquele corpo hídrico. O presente trabalho visa avaliar o grau de trofia do reservatório

Pedra do Cavalo de acordo com o Índice de Estado Trófico, utilizando os valores de fósforo total e clorofila *a*.

METODOLOGIA

Indicadores de Qualidade: O Índice de Estado Trófico

De acordo com Lamparelli (2004), o IET em lagos e reservatórios para fósforo (IET_{Pt}) e para clorofila *a* (IET_{Cl-a}) são dados por:

$$IET_{Pt} = 10. (6 - (1,77 - 0,42 \cdot (\ln.PT) / \ln 2)) \quad (1)$$

$$IET_{Cl-a} = 10. (6 - ((0,92 - 0,34 \cdot (\ln.CL)) / \ln 2)) \quad (2)$$

$$IET = (IET_{Pt} + IET_{Cl-a}) / 2 \quad (3)$$

Nas quais Pt representa o fósforo total, e Cl-a clorofila *a*; ambos expressos em µg/L.

Neste trabalho não foram considerados os valores de transparência para estimar o índice de estado trófico. Esta prática se justifica em virtude da elevada quantidade de sólidos em suspensão, capaz de aumentar a turbidez da água e interferir na estimativa do parâmetro.

$IET \leq 47$	Ultraoligotrófica
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófica
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófica
$59 < IET \leq 63$	Eutrófica
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófica
$IET > 67$	Hipereutrófica

Se os índices para fósforo total e clorofila *a* se enquadrarem na mesma classe, o grau de limitação da produtividade do fitoplâncton é normal. Para classes diferentes, caso a do fósforo se sobreponha, considera-se o grau de limitação alto. Do contrário, com a sobreposição da classe do IET_{Cl-a}, o grau de limitação é baixo, indicando condições favoráveis para a condutividade primária (Lamparelli, 2004).

Obtenção dos Dados

O presente trabalho utilizou dados da literatura obtidos por Macedo *et al.* (2013), em trabalho que caracterizou limnologicamente o Reservatório Pedra do Cavalo. O trabalho realizou amostragens mensais durante um ano na superfície de 8 pontos pré-estabelecidos, sendo determinados os parâmetros transparência, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade total, fósforo total e clorofila *a*. Os seis primeiros foram determinados *in situ*, a alcalinidade foi encontrada através da titulação com ácido sulfúrico 0,02N e a clorofila *a* foi analisada de acordo com Nush (1980). O parâmetro fósforo total foi determinado pelo método colorimétrico descrito por Murphy e Riley (1962) no Laboratório de Qualidade da Água do Núcleo de Estudos em Pesca e Aqüicultura (NEPA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Para a análise dos dados, foram delineados blocos casualizados, utilizando as estações de coleta como tratamento, e os meses como repetições. O teste de Fischer a 5% de probabilidade ($P < 0,05$) confirmou as possíveis diferenças entre os pontos, e as comparações entre eles foram feitas pelo teste de Tukey (Macedo *et al.*, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as médias anuais para cada um dos 8 pontos de análise encontrados por Macedo *et al.* (2013), foram determinados os seguintes valores de IET:

Tabela 2 – IETs para as médias anuais de fósforo total e clorofila <i>a</i> dos pontos de coleta com suas respectivas classes (Lamparelli, 2004; CETESB, 2008 apud, ANA 2012)						
Ponto	IET _{Pt}	Classe _{Pt}	IET _{Cl-a}	Classe _{Cl-a}	IET	Classe
1	64,0019	Supereutrófica	54,2340	Mesotrófica	59,1179	Eutrófica
2	64,5389	Supereutrófica	53,9836	Mesotrófica	59,2613	Eutrófica
3	64,3715	Supereutrófica	54,9536	Mesotrófica	59,6626	Eutrófica
4	64,5389	Supereutrófica	53,9387	Mesotrófica	59,2388	Eutrófica
5	64,4284	Supereutrófica	56,3418	Mesotrófica	60,3851	Eutrófica
6	65,7061	Supereutrófica	56,4646	Mesotrófica	61,0854	Eutrófica
7	65,8408	Supereutrófica	54,9168	Mesotrófica	60,3788	Eutrófica
8	65,3792	Supereutrófica	55,8173	Mesotrófica	60,5983	Eutrófica

Os valores de IET_{Pt} se enquadram todos na faixa supereutrófica, que, de acordo com CETESB (2008) *apud* ANA (2012), se baseiam em corpos d'água de alta produtividade e baixa transparência. Os lagos/reservatórios são geralmente afetados por ações antrópicas, nos quais as

florações de algas e outras alterações indesejáveis na qualidade da água são frequentes e causam interferência nos usos múltiplos. Já os resultados de IET_{Cl-a} traduzem uma condição mesotrófica, na qual a produtividade do reservatório é considerada intermediária, geralmente interferindo na qualidade da água com pouca ou nenhuma relevância (CETESB 2008 *apud* ANA 2012). A diferença dos resultados do IET_{Pt} e IET_{Cl-a} , com o primeiro classificado em grau de trofia maior que o segundo, evidencia um alto fator de limitação para a produtividade do fitoplâncton, ou seja, as condições são desfavoráveis à produtividade primária.

A partir dos dois resultados, tem-se a classificação do lago como eutrófico ($59 < IET \leq 63$), ou seja, a produtividade é superior às condições naturais, diminuindo a transparência e, em conjunto com as ações antrópicas, provocam um aumento na concentração de nutrientes e prejudicam os usos múltiplos do reservatório. (CETESB 2008 *apud* ANA 2012). Este resultado evidencia a necessidade da adoção de medidas corretivas e preventivas no gerenciamento do lago, de modo que os usos múltiplos das águas de Pedra do Cavalo não se prejudiquem nem tampouco intensifiquem a floração de algas, piorando o potencial trófico do reservatório.

Ao considerar os valores de fósforo total e clorofila *a* máximos e mínimos encontrados por Macedo *et al.* (2013), têm-se os seguintes resultados:

Tabela 3 – Classificações do IET para os valores máximos e mínimos de fósforo total e clorofila *a*

	IET_{Pt}	Classe	IET_{Cl-a}	Classe	IET	Classe
Máximos	68,89	Hipereutrófica	63,57	Supereutrófica	66,23	Supereutrófica
Mínimos	54,67	Mesotrófica	42,47	Ultraoligotrófica	48,57	Oligotrófica

Estes valores confirmam a alta limitação à produtividade, com os resultados de fósforo superiores aos resultados de clorofila *a*. Indicam uma variação do estado trófico no tempo e espaço, que pode ser provocada por variações climáticas e hidrológicas. A região do lago se localiza numa área de clima quente e úmido, com ampla sazonalidade dos períodos chuvosos e secos.

Caso os índices fossem calculados pela metodologia proposta por Toledo (1984) (*apud* Lamparelli, 2004), os três índices (IET_{Pt} , IET_{Cl-a} e IET) seriam classificados como mesotróficos, indicando normalidade na limitação de produção de fitoplâncton, e também uma visão mais branda das condições do reservatório. Neste caso, as ações de gerenciamento não se colocam tão evidentes, mas os resultados podem estar mascarando a real situação do lago, uma vez que os valores encontrados para fósforo total superam o limite máximo padrão para águas doces de classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. As águas enquadradas nesta classe são aquelas destinadas ao abastecimento humano após tratamento convencional, entre outros usos de contato direto com o público.

Observando os limites máximo e mínimo para as concentrações de fósforo e clorofila *a* nas diferentes classes, propostos por Lamparelli (2004), são encontradas as seguintes classificações:

Tabela 4 – Classificação dos pontos comparando os valores de fósforo total e clorofila <i>a</i> com os limites máximos e mínimos de cada classe				
Ponto	Pt	Classe	Cl <i>a</i>	Classe
1	35,93	Mesotrófica	4,62	Mesotrófica
2	39,26	Mesotrófica	4,39	Mesotrófica
3	38,19	Mesotrófica	5,35	Mesotrófica
4	39,26	Mesotrófica	4,35	Mesotrófica
5	38,55	Mesotrófica	7,1	Mesotrófica
6	47,6	Mesotrófica	7,28	Mesotrófica
7	48,67	Mesotrófica	5,31	Mesotrófica
8	45,1	Mesotrófica	6,38	Mesotrófica
Máximo	80,57	Eutrófica	30,97	Supereutrófica
Mínimo	7,7	Ultraoligotrófica	0,42	Ultraoligotrófica

Os valores de fósforo são subestimados em comparação à fórmula do IET_{Pt} ; Já os resultados de clorofila *a* se confirmam em relação ao IET_{Cl-a} . A igualdade nos resultados de clorofila *a* e fósforo total indicam normal limitação à produtividade de fitoplâncton. A comparação entre estes resultados sugere a adoção de outros parâmetros para determinar o índice de estado trófico do lago, tais como a transparência, oxigênio dissolvido, quantificação de biomassa, entre outros.

BIBLIOGRAFIA

ANA - Agência Nacional de Águas (2012). *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012*. ANA – Brasília, 264 p.

ANDRADE, P. R. G. S., CURI, W. F., CURI, R. S. (2007). *Índices de sustentabilidade na simulação da operação do reservatório de Pedra do Cavalo – BA: um estudo para compatibilização entre diversos usos da água e a hidroeletricidade* in Anais do XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos - São Paulo.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990,*

que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 13 de maio de 2014.

CARDOSO, E. T. S. (2011). *Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água de um braço do reservatório de Itaipu – Brasil*. Dissertação de Mestrado. UFABC – Santo André, 144 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/05. *Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Brasília, SEMA, 2005.

GENZ, F. (2006). *Avaliação dos efeitos da barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape*. Tese de Doutorado. UFBA – Salvador, 245 p.

JØRGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. (2000). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Vol 1. ILEC, IEE, UNEP – São Carlos, 184p.

LAMPARELLI, M. C. (2004). *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese de Doutorado. USP – São Paulo, 235 p. + anexos.

MACEDO, C. F., SOUZA, R. H. B., BLOIZI, C., AMORIM, J. (2013). *Caracterização limnológica do reservatório de Pedra do Cavalo – BA* in Anais do XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos – Bento Gonçalves.

POMPÊO, M. *Represas do Brasil* (20--?). Disponível em: <ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=416>. Acesso em 15 de maio de 2014.

Von SPERLING, M. (2005). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol 1. DESA - UFMG, 452 p.