



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

### ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO COM BASE EM CLOROFILA-A E FÓSFORO TOTAL NO AÇUDE SÍTIOS NOVOS, CAUCAIA, CEARÁ

*Noslina Nobre Rabelo<sup>1\*</sup> Edilene Pereira Andrade<sup>2</sup> & Fernando Jose Araújo da Silva<sup>3</sup>  
Maria Patrícia Sales Castro<sup>4</sup> Rosiel Ferreira Leme<sup>5</sup> & Daniel Camelo Cid<sup>6</sup> & Walt Disney  
Paulino<sup>7</sup> & Thaís Regina Benevides Aranha<sup>8</sup>*

**Resumo** – A deterioração da qualidade da água resulta principalmente da pressão antrópica, e em menor escala, de fatores naturais. Quanto a isto, o presente estudo trata do açude Sítios Novos, inserido na Bacia Metropolitana, Estado do Ceará, Nordeste Brasileiro. O foco da investigação foi o Índice de Estado Trófico (IET) no período de 2004 a 2014. Para tanto foram empregados dois modelos para classificação do grau de trofia no Sítios Novos. Os resultados mostraram que o açude pode ser classificado como “eutrófico”, reflexo da grande disponibilidade de nutrientes (fósforo) e elevada biomassa fitoplanctônica em termos de clorofila-a. O açude Sítios Novos está sob um processo de eutrofização natural e artificial, visto que recebe grande contribuição de agentes poluidores provenientes de fontes pontuais, como a prática da aquicultura e as fontes difusas como a pecuária praticada ao longo da bacia hidrográfica.

**Palavras-Chave:** Reservatório no trópico semiárido; Índice de Estado Trófico; Nível operacional.

### TROPIC STATE INDEX BASED ON CHLOROPHYLA- A AND TOTAL PHOSPHORUS IN AÇUDE SÍTIOS NOVOS, CAUCAIA, CEARÁ

**Abstract** – The deterioration of water quality results mainly from anthropic pressure, and to a lesser extent, natural factors. Regarding this, the present study deals with the Sítios Novos Dam, inserted in the Metropolitan Basin, State of Ceará, Northeast Brazil. The focus of the

<sup>1</sup>Administradora, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará. Doutoranda em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: nosliana\_rabelo@hotmail.com

<sup>2</sup>Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Mestranda em Saneamento Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: edilenepanfrade@hotmail.com

<sup>3</sup>Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil. Professor Adjunto na UFC e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: fjas@deha.ufc.br

<sup>4</sup>Engenheira Química, Mestre em Saneamento Ambiental. Doutoranda em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: patricia.sales@gmail.com

<sup>5</sup>Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil. Professor adjunto Campus de Russas, Universidade Federal do Ceará. E-mail: rosielferreira@gmail.com

<sup>6</sup>Engenheiro Civil, Universidade Federal do Ceará. Mestre em Recursos Hídricos. Doutorando em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: danielcamelocid@gmail.com

<sup>7</sup>Engenheiro Agrícola. Especialista em Gestão Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará. E-mail: disney@cogerh.com.br

<sup>8</sup>Tecnóloga em Geoprocessamento. Doutoranda em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: thais\_benevides@hotmail.com



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

research was the Trophic State Index (EIT) from 2004 to 2014. For this purpose, two models were used to classify the trophic degree in the Sítios Novos. The results showed that the weed can be classified as "eutrophic", reflecting the high availability of nutrients (phosphorus) and high phytoplankton biomass in terms of chlorophyll- a. The Sítios Novos reservoir is undergoing a process of natural and artificial eutrophication, since it receives a large contribution of pollutants from point sources such as aquaculture and diffuse sources such as cattle breeding along the river basin.

**Keywords:** Reservoir in the semiarid tropics; Status Index Trophic; Operational level.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas houve considerável aumento da poluição da água. A eutrofização, que se refere ao enriquecimento das águas por nutrientes, vem se tornando um problema global, generalizado pelas atividades antrópicas nas bacias hidrográficas (NETO & FERREIRA, 2007).

Entre algumas das várias causas da eutrofização, o uso de fertilizantes na agricultura, descarga de efluentes industriais e domésticos não tratados merecem destaques (BRAGA *et al*, 2005). No entanto, a situação se agrava com uma crescente pressão sobre os mananciais, resultante do incremento populacional desordenado e pela irregularidade climática. Dentre suas consequências para o ambiente estão a alteração no sabor, odor, na turbidez e na cor da água, à redução do oxigênio dissolvido que provoca a mortandade de peixes e outras espécies aquáticas, além de redução na balneabilidade da água (ZANINI, 2009).

Tais problemas para o corpo hídrico, associados a eutrofização fizeram com que este assunto fosse tratado com mais atenção e desta forma com o tempo várias metodologias foram desenvolvidas para aferir o estado trófico. O grau de trofia de um corpo hídrico é expresso pelo IET (Índice de Estado Trófico) determinado com base em concentrações, principalmente, de fósforo e clorofila- a. São também empregados outros parâmetros como a concentração de nitrogênio e a transparência medida com disco de Secchi. Há diferentes equações e intervalos, que são empregados na classificação do grau de trofia (LAMPARELLI, 2004).

Entre os diversos modelos para cálculo do IET, destaca-se o proposto por Carlson (1977). A metodologia de Carlson, por sua simplicidade e seu pioneirismo, tem sido uma das mais usadas para classificação trófica de corpos lânticos e com adaptações a estruturas lóticas. No Brasil, com clima mais quentes, há importantes variações deste trabalho como nos estudos de Toledo Jr. et al. (1983), de Lamparelli (2004) e de Cunha et al. (2013). Há ainda uma variação, apresentada em PalVluk e Bij de Vaate (2013), que utilizam o conceito de Nível Trófico (NTR) em lugar de Índice Estado Trófico.

Em síntese, neste trabalho teve-se como objetivo comparar a variação das características tróficas do Sítios Novos, no estado do Ceará, por meio da determinação do IET adotado por Toledo Jr. et al. (1983), PalVluk e Bij de Vaate (2013), verificando a qualidade das águas no período 2004 a 2014.



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

### 2. METODOLOGIA

#### Formulações do estudo

As equações para o cálculo do IET, para as concentrações de fósforo total ( $P_T$ ) e clorofila a (Cl a) estão contidas na Tabela 1, com as respectivas referências. Já a Tabela 2 contém os limites dos IET para os diferentes estados tróficos em relação aos intervalos de valores calculado para o IET. Por fim, os valores das concentrações limites de fósforo total ( $P_T$ ) e clorofila a (Cl a) estão na Tabela 3.

Tabela 1. Equações para cálculo de IET e classificação dos diferentes níveis tróficos

Fonte	Designação do Modelo	Equações propostas
Toledo Jr. et al. (1983)	A	$IETP = 14,43.Ln(P_T) - 3,28$ $IETCl_a = 10,03.Ln(Cl_a) + 30,57$
Pavluk e Bij de Vaate (2013)	B	$INTP = 2,92.Log(P_T) + 0,22$ $INTCl_a = 2,54.Log(Cl_a) + 2,22$

Tabela 2. Valores dos limites e classificação dos IET para os diferentes estados (níveis) tróficos.

Classes	Nível trófico (NTR)	A	B	Características dos corpos de água
Ultra-oligotrófico	1	$\leq 24$	$\leq 2,0$	Produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	2	25-44	2,1-3,0	Produtividade baixa em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.
Mesotrófico	3	45-54	3,1-4,0	Produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis.
Eutrófico	4	55-74	4,1-5,0	Produtividade alta e redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água.
Supereutrófico	5	-	5,1-6,0	Produtividade alta, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água.
Hipereutrófico	6	$> 74$	$> 6,0$	Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos.

## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Tabela 3. Limites de concentrações de fósforo total ( $P_T$ ) em mg P/L e clorofila a (Cl a) em  $\mu\text{g/L}$ .

Nível trófico	Toledo		Pavluk	
	$P_T$	Cl a	$P_T$	Cl a
Ultra-oligotrófico	6,0	0,5	6,0	1,0
Oligotrófico	26,0	3,8	12,0	2,6
Mesotrófico	52,0	10,3	24,0	7,3
Eutrófico	211,0	76,1	48,0	20,0
Supereutrófico	> 211,0	> 76,1	96,0	56,0
Hipereutrófico	-	-	192,0	155,0

### O reservatório e os dados do estudo

O reservatório selecionado para este estudo foi o Açude Sítios Novos, o referido açude barra o rio São Gonçalo e é composto por uma barragem de terra zoneada. A barragem está localizada no município de Caucaia, estado do Ceará, e dista cerca de 60km de Fortaleza (COGERH,2012). Possui área de espelho d'água de 2.010 ha e capacidade de armazenamento de 126 milhões de  $\text{m}^3$ . É operado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). Tem como principal objetivo o fornecimento d'água regularizado para o abastecimento do sistema portuário do Pecém. O cálculo do IET foi relativo a amostras coletadas próximas à barragem do açude (Figura 1), aqui denominado ponto (SIN-14). As coordenadas no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) são 9583077 e 504151.



Figura 1. Localização do Açude Sítios Novos, Ceará.



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Para verificar o efeito das fontes de variação das concentrações (fósforo total e clorofila a) sobre os parâmetros de qualidade da água utilizou-se a análise de variância (ANOVA). Os dados foram obtidos a partir de estudos de monitoramento da COGERH em campanhas no intervalo de 2004 a 2014.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 mostra os resultados dos valores IET obtidos com os dois modelos. Já a Tabela 5 mostra os valores médios e a equivalência destes com o Nível Trófico (referido na Tabela 3).

A análise estatística ANOVA mostrou que não há diferença entre as médias dos dados de 1º semestre e 2º semestre, tanto para a Clorofila- a como para o Fósforo. Os resultados mostraram que dentre as 22 amostras empregadas no cômputo do IET, 68% representaram a mesma trofia (hipereutrófica) para os dois métodos.

Tabela 4. Resultados para IET no ponto mostrado 14 do reservatório Sítios Novos.

Ano	Modelo de IET		% Vol
	Toledo et al. (1983)	Pavluk (2013)	Média
2004.1	-	-	-
2004.2	122,6	12,7	94,0
2005.1	93,4	10,2	81,2
2005.2	78,8	8,9	75,6
2006.1	27,1	2,4	75,9
2006.2	97,4	10,3	84,5
2007.1	111,7	11,7	77,8
2007.2	-	-	-
2008.1	155,6	15,6	73,0
2008.2	104,1	11,0	80,3
2009.1	128,8	13,3	86,6
2009.2	114,0	12,0	94,7
2010.1	109,9	11,7	81,0
2010.2	104,0	11,1	65,3
2011.1	112,5	11,8	78,9
2011.2	-	-	-
2012.1	-	-	-
2012.2	112,1	11,8	59,5
2013.1	113,9	12,0	42,3
2013.2	125,0	13,1	26,4
2014.1	125,9	13,1	12,7
2014.2	128,6	13,4	4,8



**XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**  
**26 de novembro a 01 de dezembro de 2017**  
**Florianópolis- SC**

Tabela 5. Médias para IET e equivalência de Nível Trófico no reservatório Sítios Novos.

Ano	A		B		% Vol
	IET	NTR	IET	NTR	
2004	75,1	6	7,6	6	95,97
2005	58,6	4	6,2	6	78,60
2006	60,7	4	5,6	5	80,27
2007	69,6	4	7,1	6	73,75
2008	86,3	6	8,7	6	76,64
2009	75,3	6	7,7	6	90,69
2010	69,8	4	7,2	6	73,06
2011	62,1	4	6,3	6	84,28
2012	62,0	4	6,3	6	66,79
2013	75,9	6	7,8	6	34,30
2014	81,9	6	8,4	6	8,77

Entretanto, a correlação entre os métodos não foi satisfatória, como apresentado na Tabela 6, que mostra a matriz de Pearson (para  $\alpha = 0,05$ ) relativa a esta afirmação.

Tabela 6. Matriz de Pearson ( $\alpha = 0,05$ ) para os valores médios de IET.

	Cl A	Fósforo	IET Toledo	IET Pavluk	Cota
Cl A	1				
Fósforo	0,242	1			
IET Toledo	0,725	0,659	1		
IET Pavluk	0,770	0,608	0,980	1	
Cota	-0,736	0,084	-0,371	-0,397	1

Uma vez que os coeficientes de correlação foram baixos, é possível expressar o valor do IET com base em equações de regressão entre os modelos, como segue:

	(Clorofila a e Fosforo) x Volume	(IET total) x Volume	(IET total) x Volume
Toledo	Volume= - 0.32*IET P - 1.84*IET Cl A + 206.25	Volume = -0.49* IET tot +122.36	IET tot = -1.89* Vol +126.45
Pavluk	Volume= - 3.62*IET P - 16.73*IET Cl A + 193.96	Volume = -6.18* IET tot +140.04	IET tot = -0.019* Vol + 13.25

#### 4. CONCLUSÃO

A utilização do IET é uma maneira prática e eficiente de se mensurar a qualidade de corpos d'água, tornando mais fáceis a interpretação e a divulgação dos resultados obtidos. O uso de diferentes métodos para se determinar esses valores de IET resulta em diferentes



## **XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**26 de novembro a 01 de dezembro de 2017**

**Florianópolis- SC**

classificações para um mesmo resultado. Assim, é necessário avaliar previamente qual método se adequará melhor à região cujos dados foram obtidos, para que não se superestime o valor do IET, nem o se subestime, mostrando uma realidade não compatível com a do corpo hídrico.

Para o açude Sítios Novos os resultados mostraram que, ao longo do tempo, houve tendência de aumento dos valores de IET. Também, ocorreu a predominância de índices de estado eutrófico e hipereutrófico, ou seja, águas afetadas significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a casos de florações de algas ou mortandade de peixes, prejudicando bastante a qualidade da água.

### **REFERÊNCIAS**

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CARLSON, R.E.A. Trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering* v. 60, n. 1, p. 126-134, 2013.

LAMPARELLI, M.C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de Doutorado, 207f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

NETO, M. L. F.; FERREIRA, A. P. - Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos - *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente* - v.2, n.4, Seção 1, ago 2007.

TOLEDO, A., TALARICO M., CHINEZ, S.J., AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: 12o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-34. Camboriú-SC, Setembro de 1983.

PAVLUK, T.; BIJ DE VAATE, A. Trophic index and efficiency. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2013. 11-Sep-13 doi: 0.1016/B978-0-12-409548-9.00608-4.

ZANINI, H. L. H. T. Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP). Jaboticabal, 75 f. 2009. Tese (doutorado em Microbiologia Agropecuária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/micro/d/2760.pdf>>. Acesso em: 10 de ago 2012.