

ANÁLISE DO ESTADO TRÓFICO DE UMA BACIA DE ACUMULAÇÃO EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL

Gilvan Soares¹
Nádia Teresinha Schröder²

RESUMO

A atividade industrial, devido à natureza de sua atividade, é reconhecida pelos potenciais riscos à saúde pública e ambiental. Em vista disso, bacias de acumulação e segurança foram criadas para receber as águas pluviais ou águas das chuvas e regiões marginais às áreas industriais antes de serem lançadas no corpo hídrico. Este estudo objetivou analisar o processo de eutrofização através do Índice de Estado Trófico (IET) da Bacia de Acumulação nº 4 e bacias e lotes adjacentes que contribuem para alimentá-la em um complexo industrial. Os resultados obtidos reúnem elementos para subsidiar melhorias na operação de monitoramento da bacia em estudo e permitir o emprego de ações mitigadoras que protejam e mantenham a qualidade das águas da Bacia de Acumulação nº 4.

Palavras-chave: Eutrofização, Índice de Estado Trófico, bacia de acumulação.

ABSTRACT

The industrial activity, due to the nature of its operations, is recognized by potential risks to public and environmental health. As a result of accumulation and safety basins are designed to receive storm water or rainwater and marginal areas to industrial areas before being discharged into the water body. This study aimed to analyze the process of eutrophication through the Trophic State Index (TSI) of Accumulation Basin 4 and basins and adjacent lots that contribute to feed it into an industrial complex. The results together elements to support improvements in the basin monitoring operation under study and allow the use of mitigating measures to protect and maintain the water quality of Accumulation Basin nº 4.

Keywords: Eutrophication, trophic state index, accumulation basin.

INTRODUÇÃO

Em condições naturais a qualidade da água é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. Em condições antrópicas, de forma concentrada, é afetada pelos despejos domésticos e industriais, ou de forma dispersa, através da aplicação de defensivos agrícolas no solo, por exemplo, resultando num processo de eutrofização.

A eutrofização consiste no aumento excessivo de nutrientes na água, principalmente nitrogênio e fósforo, podendo ser causada por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas

¹ Engenheiro Ambiental – parte do TCC do curso de Engenharia Ambiental/ULBRA

² Professora-Orientadora do curso de Engenharia Ambiental/ULBRA (propos@ulbra.br)

pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, com consequente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lânticos (BARRETO et. al., 2013, FIGUEIREDO et al, 2007).

Em muitos processos industriais, a água é utilizada como matéria-prima, meio de transporte, fonte de vapor, agente de limpeza, solvente de processos entre outros, e geralmente parte dessa água é descartada para a natureza com dejetos e impurezas, sem condições de uso, chegando aos rios, com alto poder contaminante, contribuindo com sua poluição. Para caracterização e investigação das possíveis fontes de contaminação das indústrias, através de seus despejos, deve-se considerar que cada uma possui matérias-primas diferenciadas, influenciando nos seus processos e nas características dos seus efluentes, que são lançados nos corpos hídricos podendo contribuir com nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que são os principais causadores da eutrofização (BEM, 2009; VON SPERLING, 2011).

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzam as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Na Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA estão apresentados limites aceitáveis de concentração para os mais de 70 parâmetros de qualidade da água. Por questões ambientais, a qualidade da água que deve sair das bacias de acumulação para o rio deve possuir qualidade igual ou superior a do curso hídrico receptor (BRASIL, 2005).

As macrófitas aquáticas são plantas que apresentam grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, habitando ambientes variados de água doce, salobra e salgados, ambientes de água estacionária e corrente. Os padrões de crescimento desses vegetais estão relacionados principalmente com a disponibilidade de luz, as condições físicas (pH, regime térmico, etc.), as propriedades químicas da coluna d'água (disponibilidade de nutrientes, salinidade e alcalinidade), as características hidrológicas e morfométricas (velocidade da corrente, variação no nível d'água e profundidade média) e com processos ecológicos, como sucessão, competição e predação. Entre as variáveis citadas, destacam-se a temperatura e a disponibilidade de luz e nutrientes como fatores limitantes e controladores do crescimento de macrófitas aquáticas em ecossistemas continentais (MELLO; FRANCO; MATALLO, 2013; ROCHA, 2013).

O crescimento excessivo de macrófitas aquáticas em um determinado corpo hídrico reflete o estado trófico do ambiente, sinalizando para medidas de controle do aporte de nutrientes e, conseqüentemente, da eutrofização do mesmo. O controle de macrófitas aquáticas deve ser previsto em programas de gerenciamento de qualidade da água, tanto na forma de medidas preventivas, quanto através de medidas corretivas (PAULINO; FREIRE, 2008).

Em função da eutrofização, muitos reservatórios e lagos já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação. De acordo com Mezomo (2010), se faz necessário estabelecer programas de monitoramento da qualidade das águas, a fim de controle e preservação das condições da água oferecida às populações. Este estudo objetivou identificar o processo de eutrofização da Bacia de

Acumulação nº4 num complexo industrial e as possíveis causas através da análise do seu estado trófico.

Conforme CETESB (2013) o Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água 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 ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila *a*, IET(CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas. Num corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila *a* certamente coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo total. 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 esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo total.

Em virtude da variabilidade sazonal dos processos ambientais que têm influência sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, esse processo pode apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado. Em geral, no início da primavera, com o aumento da temperatura da água, maior disponibilidade de nutrientes e condições propícias de penetração de luz na água, é comum observar-se um incremento do processo, após o período de inverno, em que se mostra menos intenso. De acordo com CETESB (2013), os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para reservatórios estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação do Estado Trófico para reservatórios segundo Índice de Carlson.

Classificação do Estado Trófico - Reservatórios				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi – S (m)	P-total – P (mg.m-3)	Clorofila a (mg.m-3)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$S \geq 2,4$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$2,4 > S \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$1,7 > S \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$1,1 > S \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$0,8 > S \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$0,6 > S$	$233 < P$	$69,05 < CL$

Fonte: CETESB (2013)

A classificação do Índice do Estado Trófico com sua respectiva ponderação, de acordo com CETESB (2013) apresenta-se da seguinte forma: Ultraoligotrófico

com ponderação 0,5 e representado com a cor azul; Oligotrófico com ponderação 1 e representado com a cor verde; Mesotrófico com ponderação 2 e indicado com a cor amarelo; Eutrófico com ponderação 3 e representado pela cor verde oliva; Supereutrófico com ponderação 4 e indicado pela cor vermelha; Hipereutrófico com ponderação 5 e indicado pela cor roxa.

Os valores estabelecidos para IET com suas respectivas classificações e as características de cada classe encontram-se informados no Quadro 2.

Quadro 2 – Classes de Estado Trófico e respectivos valores e características principais.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
= 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
47<IET= 52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 <IET= 59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59<IET=63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63<IET=67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: CETESB (2013)

METODOLOGIA

O planejamento experimental foi dividido nas seguintes etapas para análise da área em estudo:

Metodologia de amostragem e localização dos pontos de coleta: as amostras do IET (clorofila *a* e Fósforo total) da Bacia 4 foi estabelecida utilizando metodologia desenvolvida pela CETESB (2013), através de amostragens realizadas quinzenalmente, por um período de seis meses em pontos específicos (Lote 18, Bacia 3, Bacia 7, Captação - C8), O Lote 18 e a Captação (C8) serviram como pontos de referência para determinação

das contribuições da qualidade da água da Bacia 4. Todos os materiais e equipamentos utilizados na coleta foram calibrados, higienizados e descontaminados antes de cada uso para a coleta da amostra, conforme recomendações do Guia Nacional de Coletas da Agência Nacional de Águas – ANA (2011).

Os pontos de coleta foram localizados da seguinte forma: amostras coletadas na canaleta de envio d'água para Bacia 4 – Lote 18 - Ponto 1 (P1); (Latitude 29°51'54.62"S; Longitude 51°23'30.90"O); saída da Bacia 4 – Ponto 2 (P2); (Latitude 29°51'20.37"S; Longitude 51°23'8.6"O); saída da Bacia 7 – Ponto 3 (P3); (Latitude 29°51'58.00"S; Longitude 51°22'0.86"O); saída da Bacia 3 – Ponto 4 (P4); (Latitude 29°52'48.81"S; Longitude 51°22'13.29"O); captação de água – C8 – Ponto 5 (P5); (Latitude 29°53'6.49"S; Longitude 51°22'5.64"O). O Ponto 1 é um afluente do Ponto 2 e o Ponto 5 é utilizado para captação de água do rio Caí. Esses dois pontos, em conjunto com os Pontos 3 e 4, permitem estabelecer a correlação da qualidade de águas pluviais na região onde está localizado o Complexo Industrial. Os Pontos 2, 3 e 4 são tributários de suas águas para o rio Caí.

Análise dos parâmetros: os parâmetros de fósforo total e clorofila *a* foram encaminhadas para serem analisadas em laboratório, e em campo, pela Equipe de Segurança, Saúde e Meio Ambiente do complexo industrial. Das três variáveis citadas para o cálculo do IET, duas foram aplicadas (clorofila *a* e fósforo total) e os valores de transparência não, pois muitas vezes não são representativos do estado de trofia. A transparência pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos. Dessa forma, não foi considerado o cálculo do índice de transparência na Bacia 4.

RESULTADOS

Os resultados das 110 amostragens realizadas, no período de estudo, dos parâmetros de fósforo total e clorofila *a* encontrados para analisar o processo de eutrofização na Bacia de Acumulação (n° 4), no Complexo Industrial, encontram-se indicado no Quadro 3.

As concentrações máximas registradas espacial e temporalmente, dos parâmetros fósforo total e clorofila *a* utilizados na composição do IET seguiram as estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces – Classe 3.

Quadro 3 - Análise espacial e temporal das concentrações de fósforo total e clorofila *a*

Pontos	Parâmetro (mg/m ³)	primavera		verão					outono			
		dezembro		janeiro		fevereiro		março	abril		maio	
		1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
P1	Fósforo Total	50	40	60	ND	40	110	ND	ND	40	40	50
	Clorofila <i>a</i>	4,5	4,5	4,3	7,4	4,3	3,5	2,1	1,3	0,8	0,8	1,2
P2	Fósforo Total	180	240	220	290	120	200	120	130	50	60	50
	Clorofila <i>a</i>	4,3	6,6	5,3	5,0	4,8	7,1	4,8	2,3	8,3	5,2	5,3
P3	Fósforo Total	70	80	30	ND	70	230	40	60	50	60	ND
	Clorofila <i>a</i>	22	16	5,9	15,1	34,2	27,1	16,5	33,2	2,7	2,7	2,3
P4	Fósforo Total	60	40	ND	120	N/D	100	40	ND	30	ND	40
	Clorofila <i>a</i>	5,0	8,6	3,7	1,9	2,1	4,8	4,1	0,3	0,3	0,3	0,4
P5	Fósforo Total	13	160	190	ND	13	23	120	120	120	110	120
	Clorofila <i>a</i>	1,0	0,3	0,5	13,9	0,8	1,3	1,3	0,5	0,8	0,6	0,7

Analisando os dados do Quadro 3 observa-se que, temporalmente, no ponto 1 a maior concentração de fósforo total ocorreu no verão, mais especificamente a 2^a coleta realizada no mês de fevereiro (110 mg/m³). A maior concentração de clorofila *a*, também, foi no verão, mas na 2^a coleta de janeiro (7,4 mg/m³). No ponto 2 observou-se que o valor máximo registrado para o fósforo total foi no verão, na 2^a coleta do mês de janeiro (290 mg/m³) e quanto à clorofila *a*, o valor mais alto foi registrado no verão, na 4^a coleta (7,1 mg/m³). No ponto 3 identificou-se a 2^a coleta de fevereiro com o maior registro de fósforo total (230 mg/m³) e em relação à clorofila *a*, a 1^a coleta de fevereiro (34,2 mg/m³), ambas no verão. Quanto ao ponto 4 observou-se que o valor máximo de fósforo total foi registrado na 2^a coleta de janeiro (120 mg/m³), portanto, no verão e quanto ao valor da clorofila *a*, o maior foi encontrado na 2^a coleta de dezembro (8,6 mg/m³), portanto na primavera. No ponto 5, analisando os valores encontrados observa-se que o fósforo total teve o seu maior registro na 1^a semana de janeiro (190 mg/m³), verão. A clorofila *a* apresentou a mesma concentração máxima em duas coletas consecutivas, a 2^a coleta de fevereiro e 1^o de março (1,30 mg/m³).

Temporalmente, ambas as concentrações máximas de fósforo total e de clorofila *a*, foram registradas no verão.

Espacialmente, o ponto 2 foi o ponto que apresentou a concentração mais alta de fósforo total (290 mg/m³) e o ponto 3 o de clorofila *a* (34,2 mg/m³).

Analisando-se os valores de fósforo total registrado para os pontos de coleta observou-se que no ponto 1, os valores ficaram dentro do permitido com exceção da 2^a coleta de fevereiro. No ponto 2 houve uma constante de valores acima do permitido pela legislação da 1^a à 8^a coleta. Entre os pontos 3 e 4 houve o registro de valores que ficaram dentro do permitido e outros acima. No ponto 5 observou-se resultados extremos, ou seja, valores bem abaixo e outros bem acima do limite estabelecido.

A partir dos parâmetros de clorofila *a* e fósforo total utilizados para auxiliar no diagnóstico de qualidade da água, na área do Complexo Industrial, foi possível realizar o cálculo do IET de todos os pontos estabelecidos e fazer a comparação com a qualidade da água da Bacia 4, objeto deste estudo.

Índice do Estado Trófico do Ponto 1 (Lote 18)

No Lote 18 (Quadro 4), observou-se que três coletas (primavera 1ª e 2ª e verão 3ª), apresentaram processo de eutrofização estabelecido, de acordo com CETESB (2013), uma vez que o estado trófico determinado pelo índice de clorofila *a* está muito próximo do estado trófico determinado pelo índice de fósforo total. O ambiente, quando analisado individualmente cada parâmetro, encontra-se classificado como Mesotrófico. As demais coletas apresentam o estado trófico determinado pelo índice de clorofila *a* abaixo do estado trófico determinado pelo índice de fósforo total. Destaca-se que em alguns pontos não foram detectados fósforo total, em virtude do limite de detecção dos equipamentos utilizados.

Temporalmente observa-se que as estações primavera (55,7) e verão (54,4) apresentaram-se como Mesotrófica, uma vez que nos IET mensais de clorofila *a*, o resultado foi Mesotrófico, enquanto que nos IET do fósforo total os resultados variaram entre Mesotrófico e Oligotróficos. A estação do outono foi classificada como Oligotrófico (49,8) em função dos valores do IET da clorofila *a* ficar entre Ultraoligotrófico e Oligotrófico e o do fósforo total em Mesotrófico. Este último dado pode não apresentar a real situação do ambiente, uma vez que em uma coleta para análise do parâmetro não foi realizada e em outras duas, o parâmetro não foi detectado.

O IET médio do período analisado classifica o Ponto 1 como Mesotrófico (53,1).

Quadro 4 - Concentrações de clorofila *a* e fósforo total no Ponto 1, valor do IET individual por parâmetro, valor do IET médio quinzenal

Parâmetros	LD	PONTO 1 - LOTE 18											
		PRIMAVERA		VERÃO					OUTONO				
		1a	2a	1a	2a	3a	4a	5a	1a	2a	3a	4a	5a
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0,1	4,5	4,5	4,3	7,4	4,3	3,5	2,1	NR	1,3	0,8	0,8	1,2
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,05	0,04	0,06	ND	0,04	0,11	ND	NR	ND	0,04	0,04	0,05
Fósforo Total (mg/m ³)	20	50	40	60	ND	40	110	ND	NR	ND	40	40	50
IET (CL) mg/m ³		54,1	54,1	53,9	56,6	53,9	52,9	50,3	NR	48	45,6	45,6	47,6
IET (PT) µg/l		58,1	56,8	59,2	ND	56,8	62,9	ND	NR	ND	56,8	56,8	58,1
IET MÉDIO		55,7		56,5			56,5		50,3		49,9		49,8

Legenda:
 LD: Limite de Detecção
 ND: Não Detectado;
 NR: Não Realizado

Índice do Estado Trófico do Ponto 2 (Bacia 4)

Quanto a Bacia 4 (Quadro 5) verificou-se que somente as coletas realizadas na estação de outono (3ª e 5ª coletas) apresentaram processo de eutrofização estabelecido, classificando-a como IET Mesotrófico, conforme CETESB (2013). As demais coletas evidenciam que os valores de fósforo total e clorofila *a* estão classificados em categorias diferentes de estado trófico. O fósforo total apresentou-se classificado como Supereutrófico e Hipereutrófico em relação à clorofila *a*, não havendo equilíbrio entre os dois parâmetros. Cabe ressaltar, que no mês de janeiro de 2014 a bacia sofreu limpeza mecânica das macrófitas (*Salvinia* sp.), conforme figuras 15 e 16. Constatou-se que os resultados de fósforo total do Lote 18 são menores do que os valores de fósforo total da Bacia 4. Esse fato torna claro que novas pesquisas devem ser realizadas para verificar se existem outras fontes de contribuição de fósforo para Bacia 4.

Observou-se que analisando os parâmetros individuais de fósforo total encontrados da Bacia 4, os valores estão acima do estabelecido para lagos de ambiente lênticos de 0,05 mg/L, conforme Resolução CONAMA n° 357/2005. Em contrapartida os valores de Clorofila *a* apresentaram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação. Pode-se correlacionar essa relação, fósforo total e clorofila *a*, como causa e efeito, onde o efeito foi atenuado.

Temporalmente observou-se que as estações primavera (60,5) e a maior parte do verão (60) encontram-se classificados como Eutrófico, uma vez que o IET mensal da clorofila *a* apresentou-se constante como Mesotrófico e o IET mensal do fósforo total entre Supereutrófico e Hipereutrófico. A estação de outono foi classificada como Mesotrófico (57) em função do IET mensal da clorofila *a* apresentar um resultado Oligotrófico e os restantes Mesotróficos, enquanto que o IET do fósforo total apresentou um resultado Supereutrófico e os demais Mesotróficos.

A classificação, pela média dos dois parâmetros coletados (fósforo total e clorofila *a*), permite estabelecer uma categoria Eutrófica (59) para Bacia 4, durante o período proposto, de acordo com CETESB (2013).

Quadro 5 - Concentrações de clorofila *a* e fósforo total no Ponto 2, valor do IET individual por parâmetro, valor do IET médio quinzenal, valor do IET médio semestral e o valor do IET médio por estação do ano

Parâmetros	LD	BACIA 4 - PONTO 2															
		PRIMAVERA			VERÃO					OUTONO							
		1a	2a	1a	2a	3a	4a	5a	1a	2a	3a	4a	5a				
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0,1	4,3	6,6	5,3	5	4,8	7,1	4,8	NR	2,3	8,3	5,2	5,3				
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,18	0,24	0,22	0,29	0,12	0,2	0,12	NR	0,13	0,05	0,06	0,05				
Fósforo Total (mg/m ³)	0,02	180	240	220	290	120	200	120	NR	130	50	60	50				
IET (CL) mg/m ³		53,9	55,9	54,9	54,6	54,4	56,3	54,4	NR	50,8	57,1	54,8	54,9				
IET (PT) µg/l		65,9	67,7	67,1	68,8	63,4	66,5	63,4	NR	63,9	58,1	59,2	58,1				
IET MÉDIO MENSAL		60,5			61			60			58,8			57,3		56,8	
Legenda:																	
LD: Limite de Detecção																	
NR: Não Realizado																	

Índice do Estado Trófico do Ponto 3 (Bacia 7)

Em relação à Bacia 7 (Quadro 6), identificou-se que três coletas realizadas mostraram processo de eutrofização estabelecido por apresentar valores coincidentes ou quase entre os índices de clorofila *a* e fósforo total (primavera – 1ª e 2ª coletas; verão – 1ª coleta), classificando a bacia como Eutrófica nas coletas do mês de dezembro e Mesotrófica na coleta da primeira quinzena de janeiro, corroborando com CETSB (2013).

Três coletas apresentaram resultados de clorofila *a* maiores em relação aos valores de fósforo total (verão – 3ª e 5ª coletas, outono – 2ª coleta). Evidencia-se que outras contribuições, além do fósforo, podem estar sendo incorporadas ao sistema em questão, favorecendo essas alterações no IET da clorofila *a*.

Duas coletas (verão – 2ª; outono – 5ª) não apresentaram valores de fósforo total. Nas demais coletas registraram-se valores inferiores de IET da clorofila *a* comparativamente ao IET do fósforo total.

Temporalmente foi possível classificar as estações primavera (60,8) e verão (59,6), em estado Eutrófico, mesmo tendo sido registrado para o período um IET da clorofila *a* como Supereutrófico e um resultado do IET fósforo total como Supereutrófico. Estes valores resultaram em IETs mensais variando entre Mesotróficos, Eutróficos e Supereutróficos. Em relação ao outono, ambas coletas apresentaram estado Mesotrófico (55,9) formado por uma variação do IET da clorofila *a* que variou entre Oligotrófico e Supereutrófico. Nesta composição o IET do fósforo total variou entre Mesotrófico e Eutrófico.

Classifica-se o IET médio do período analisado como Mesotrófico (58,6).

Quadro 6 - Concentrações de clorofila *a* e fósforo total no Ponto 3, valor do IET individual por parâmetro, valor do IET médio quinzenal

Parâmetros	LD	BACIA 7 - PONTO 3												
		PRIMAVERA		VERÃO					OUTONO					
		1ª	2ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
Clorofila <i>a</i> (mg/m³)	0,1	22,4	16	5,9	15,1	34,2	27,1	16,5	NR	33,2	2,7	2,7	2,3	
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,07	0,08	0,03	ND	0,07	0,23	0,04	NR	0,06	0,05	0,06	ND	
Fósforo Total (mg/m³)	20	70	80	30	ND	70	230	40	NR	60	50	60	ND	
IET (CL) mg/m³		62	60,3	55,4	60	64	63	60,5	NR	64	51,6	51,6	50,8	
IET (PT) µg/l		60,2	61	55	ND	60,2	67,4	56,8	NR	59,2	58,1	59,2	ND	
IET MÉDIO		60,8		56,8			63,6		58,6		58		53,7	

Legenda:
 LD: Limite de Detecção
 ND: Não Detectado
 NR: Não Realizado

Índice do Estado Trófico do Ponto 4 (Bacia 3)

Na Bacia 3 (Quadro 7), observa-se que duas coletas apresentaram estado trófico de clorofila *a* muito próximo do estado trófico do fósforo total. As amostras da primavera (2ª coleta) e verão (5ª coleta). Outras quatro amostras apresentaram índices de fósforo

maiores em relação a clorofila, indicando um processo de eutrofização em andamento, de acordo com CETESB (2013). Nesta bacia foi possível visualizar uma variação do IET clorofila *a* entre os estados Ultraoligotrófico até o Mesotrófico, enquanto que o IET fósforo total, a variação se deu entre Mesotrófico e Supereutrófico.

Temporalmente, identificou-se um IET Mesotrófico para as estações primavera (56,9) e verão (55,3) formado pelo IET da clorofila *a* que variou entre um estado Oligotrófico e Mesotrófico, enquanto que o estado trófico do fósforo total variou entre Mesotrófico, Eutrófico e Supereutrófico. Em relação a estação de outono (45,6), o IET foi classificado como Ultraoligotrófico, uma vez que o IET clorofila *a* apresentou-se como Ultraoligotrófico e o IET fósforo total como Mesotrófico.

Com os resultados do período, pode-se estabelecer o IET da Bacia 3 como Mesotrófico (52,3).

Quadro 7 - Concentrações de clorofila *a* e fósforo total no Ponto 4, valor do IET individual por parâmetro, valor do IET médio quinzenal.

PONTO 4 - BACIA 3													
Parâmetros	LD	PRIMAVERA		VERÃO					OUTONO				
		1a	2a	1a	2a	3a	4a	5a	1a	2a	3a	4a	5a
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0,1	5	8,6	3,7	1,9	2,1	4,8	4,1	NR	0,3	0,3	0,3	0,4
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,06	0,04	ND	0,12	ND	0,1	0,04	NR	ND	0,03	ND	0,04
Fósforo Total (mg/m ³)	20	60	40	ND	120	ND	100	40	NR	ND	30	ND	40
IET (CL) mg/m ³		54,6	57,2	53,1	49,8	50,3	54,4	53,6	NR	40,8	40,8	40,8	42,2
IET (PT) µg/l		59,2	56,8	ND	63,4	ND	62,3	56,8	NR	ND	55	ND	56,8
IET MÉDIO		56,9		55,2		55,5		55,2		45,1		46,1	
Legenda:													
LD: Limite de Detecção													
ND: Não Detectado													
NR: Não Realizado													

Índice do Estado Trófico do Ponto 5 (Captação – C8)

Em relação às amostras coletadas na (Quadro 8) identificou-se que nenhuma delas apresentou processo de eutrofização estabelecido, mas em andamento, conforme CETESB (2013). Com a análise dos parâmetros, observou-se que os valores de fósforo total são superiores em relação à clorofila *a*.

Com o resultado das análises constatou-se que, no Ponto 05 (Captação – C8), as amostras foram coletadas junto à margem. Esse procedimento pode ter influenciado nos resultados dos laudos pela elevada concentração de lodo. A partir disso as amostras do Ponto 05 foram coletadas no leito do rio. Com essa alteração evidenciou-se uma amostra mais fidedigna das condições do ponto 5.

Temporalmente identificou-se a estação primavera (48,8) como Oligotrófica, porém houve uma variação entre os IET individuais dos parâmetros que compõem o IET mensal médio. O IET da clorofila *a* apresentou-se Eutrófico, enquanto que o IET do fósforo total

apresentou-se Oligotrófico e Eutrófico. Todos esses valores foram respectivamente na 1ª e na 2ª coleta da primavera. A estação verão (56,3) foi classificada como Mesotrófica, bem como a do outono (52). Esta última em função do IET da Clorofila *a* apresentar-se entre Ultraoligotrófico e Mesotrófico, com um único valor extrapolando para Hipereutrófico. No IET do fósforo total houve um predomínio de valores classificados como Mesotrófico, porém com um registro de Oligotrófico e um de Eutrófico.

O IET do ponto 5 está classificado como Mesotrófico (53,6).

Quadro 8 - Concentrações de clorofila *a* e fósforo total no Ponto 5, valor do IET individual por parâmetro, valor do IET médio quinzenal.

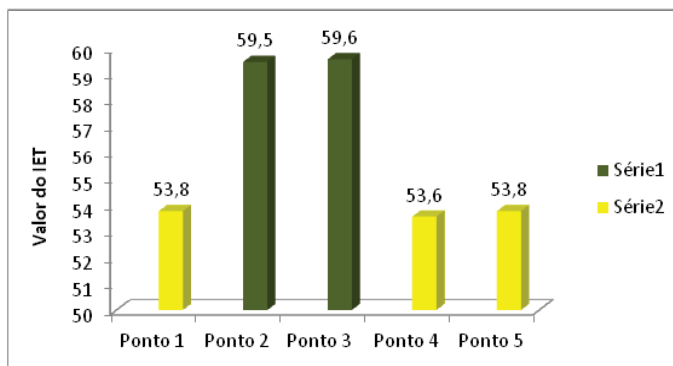
PONTO 5 - CAPTAÇÃO (C8)													
Parâmetros	LD	PRIMAVERA		VERÃO					OUTONO				
		1a	2a	1a	2a	3a	4a	5a	1a	2a	3a	4a	5a
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0,1	1	0,3	0,5	13,9	0,8	1,3	1,3	NR	0,5	0,8	0,6	0,7
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,01	0,16	0,19	ND	0,1	0,2	0,1	NR	0,12	0,12	0,11	0,12
Fósforo Total (mg/m ³)	20	13	160	190	ND	130	230	120	NR	120	120	110	120
IET (CL) mg/m ³		50,1	39,6	44,1	72,8	48,1	52,3	52,3	NR	44,1	48,1	45,6	47
IET (PT) µg/l		47,2	60,3	61,2	ND	59,2	62,1	58,8	NR	58,8	58,8	58,3	58,8
IET MÉDIO		48,8		58,1		55,2		55,4		52,06		52,1	
Legenda:													
LD: Limite de Detecção													
ND: Não Detectado													
NR: Não Realizado													

Índice do Estado Trófico Médio Semestral

Ao analisar-se o IET do Ponto 2 (Bacia 4), observou-se que a mesma possui valor idêntico ao do Ponto 3 (Bacia 7), ou seja, classificação de eutrófico. Já em relação aos outros três pontos (Ponto 1 - Lote 18, Ponto 4 - Bacia 3 e Ponto 5 – Captação – C8), os mesmos possuem índices tróficos menores classificados como mesotróficos (Figura 1).

O fato da Bacia 4 e Bacia 7 possuírem índices maiores de trofia deve ser correlacionado com os valores de fósforo total e clorofila *a*, e principalmente de outras contribuições de macronutrientes, que não estão sendo analisados nas coletas dos pontos estabelecidos para estudo.

Figura 1 - Índice do Estado Trófico médio semestral dos pontos amostrados



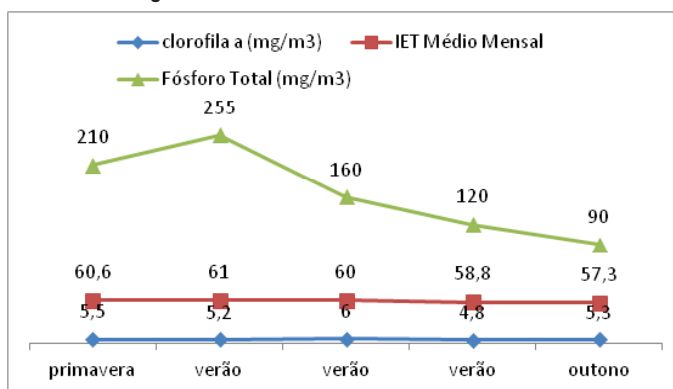
Sazonalidade dos Parâmetros na Bacia de Acumulação nº 4

Ao analisar a interferência da sazonalidade nos valores de clorofila a , fósforo

total e IET médio mensal, percebeu-se que mudanças de temperatura e intensidade luminosa, durante as mudanças de estações, resultaram em impactos inexpressivos no ambiente da Bacia 4. Estas observações puderam ser evidenciadas nas concentrações de clorofila a , que se mantiveram estáveis, dentro de concentrações próximas, mesmo com um aporte maior de fósforo no período de estudo. Esse aporte foi diminuindo ao longo dos meses subsequentes, provavelmente em função do aumento do índice pluviométrico e diluição da concentração dos nutrientes.

O comportamento do fósforo total nas estações do ano diferenciou-se do comportamento da clorofila a , porém este quadro não alterou a classificação do IET da Bacia 4 permanecendo Eutrófica como se evidencia na Figura 2.

Figura 2 - Sazonalidade dos Parâmetros na Bacia 4



CONCLUSÃO

A aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) nos cinco pontos de monitoramento, apresentou resultados satisfatórios para avaliação da qualidade da água da Bacia de Acumulação nº 4, através de análise direta e comparativa com os outros quatro pontos de referência, principalmente Ponto 1 e Ponto 5, porém não foi possível estabelecer correlações de sazonalidade, pluviometria ou outras contribuições para a caracterização da água da bacia em questão.

Recomenda-se que os resultados obtidos com o IET, sirvam de benefício técnico e gerencial para reestruturação da rotina de acompanhamento e monitoramento das águas pluviais e tratamento de efluentes, a fim de aumentar o caráter preventivo e educacional dos monitoramentos, garantindo a qualidade das águas enviadas para o principal corpo hídrico receptor.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2011.

APHA. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Maryland: APHA, 2012.

BARRETO, L. V. et al. Eutrofização em rios brasileiros. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16; p. 2165, 2013.

BEM, C. C. **Determinação do estado de eutrofização de um lago raso**: estudo de caso do lago Barigui – Curitiba. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Curitiba: UFPR, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução 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. Brasília: CONAMA, 2005.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Fortaleza, v. 12, n. 4, p. 399-409, 2007.

MELLO, M. A. M de M.; FRANCO, D. A. de S.; MATALLO, M. B. **Controle de macrófitas aquáticas**. Instituto Biológico. Disponível em: <http://www.biológico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=72#>. Acesso em: 22 jun. 2015.

MEZOMO, A. M. **A qualidade das águas como subsídio para gestão ambiental**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2010.

PAULINO, W. D.; FREIRE, R. H. F. Macrófitas aquáticas. **Boletim Técnico da Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará - Leitura de Minuto**, Fortaleza, v. 11, 2008.

ROCHA, O. **Probio – Programa de Biodiversidade**. Universidade Federal de São Carlos Disponível em: <http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html>. Acesso em: 22 jun. 2015.

SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL. **IET – Índice do Estado Trófico**. São Paulo: CETESB, 2004. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.