

## 25º. Encontro Técnico AESABESP

### CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO COM ESTUDO DE CASO NO AÇUDE GAVIÃO-CE

#### **Ana Carolina de Carvalho<sup>(1)</sup>**

Técnica em Meio Ambiente pelo CEPEP, Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE, Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Estácio FIC. Técnica em Saneamento da Gerência de Concessão e Regulação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE.

#### **Jade dos Santos Carmona<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE, Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Estácio FIC. Assistente de Engenharia na Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE.

#### **Vitor Alves de Lima<sup>(3)</sup>**

Técnico em Meio Ambiente pelo CEPEP, Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo IFCE. Gestor de Núcleo na Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE.

#### **Veroneide Oliveira Fernandes<sup>(4)</sup>**

Técnica em Saneamento na Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE

**Endereço:** Av. Lauro Vieira chaves, 1030 - Bairro Vila União - Fortaleza - Ceará - CEP: 60422-901 - Brasil - Tel: +55 (85) 3248-8339. E-mail: [carolina.carvalho@cagece.com.br](mailto:carolina.carvalho@cagece.com.br)

#### **RESUMO**

O Açude Gavião é o manancial utilizado para o abastecimento de água de Fortaleza e parte de sua Região Metropolitana. Localiza-se no limite entre os municípios cearenses de Pacatuba e Itaitinga. Diante de sua importância, visa-se assegurar que o mesmo possua qualidade adequada para o seu uso. O processo de eutrofização dos mananciais consiste no aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos, provocado pela entrada excessiva de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. O objetivo desse trabalho é, portanto, avaliar a concentração do fósforo e clorofila, a partir da análise de duas metodologias e estimar o estado trófico do Gavião, utilizando os dados disponíveis no sítio eletrônico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Para a elaboração dos resultados, foram utilizados como referência os meses de maio, agosto e novembro de 2012, fevereiro e maio de 2013. Como uma análise geral dos resultados, pode-se destacar que o grau de trofia do Açude permaneceu sem grandes variações no período monitorado. A metodologia utilizada pela COGERH mostra-se mais conveniente para o monitoramento do Açude Gavião, uma vez que para a definição do estado trófico do açude, busca-se sempre validar o resultado do índice utilizado (IET) com os demais aspectos considerados. Pode-se inferir que o IET constitui uma metodologia prática de avaliação da qualidade de mananciais, de fácil interpretação e divulgação para o público.

**PALAVRAS-CHAVE:** abastecimento, eutrofização, IET.

#### **INTRODUÇÃO**

Devido aos constantes períodos de seca que caracterizam o clima semiárido no nordeste brasileiro, a população local enfrenta problemas sérios de escassez de água e, conseqüentemente, afetando a agricultura. Para tentar minimizar este problema, ao longo do último século foram implementadas políticas públicas de construção de reservatórios

artificiais ou açudes no semiárido como forma de amenizar este fenômeno natural (VIDAL, 2011).

A Companhia de Abastecimento de Água e Esgotos do Estado do Ceará – CAGECE abastece 96% da população da Região Metropolitana de Fortaleza (cerca de 2,8 milhões de pessoas) e para isso, possui três grandes açudes com capacidade máxima de 70 milhões de m<sup>3</sup>, sendo eles: Riachão, Pacoti e Gavião. Os três são interligados, sendo que existe uma Estação de Tratamento de Água (ETA) ao lado do Açude Gavião, que trata a água consumida em Fortaleza, Maracanaú e Caucaia. (CAGECE, 2008).

O Açude Gavião, que faz parte desse estudo, é responsável pelo abastecimento de água potável de Fortaleza e parte de sua Região Metropolitana. Está localizado entre os municípios cearenses de Pacatuba e Itaitinga. Seu reservatório tem capacidade para armazenar 53 milhões de metros cúbicos de água. (COGERH, 2012).

De acordo com Sousa (2007), o armazenamento de água em reservatórios torna essas massas líquidas vulneráveis a um maior risco de degradação. Como se sabe, a água armazenada fica sujeita a longo período de residência, o que ocasiona algumas importantes relações, tanto do ponto de vista químico, como biológico.

Estas reações, associadas com alguns lançamentos de efluentes, provenientes de zonas urbanas, áreas industriais e zonas rurais, acabam por acelerar o processo de envelhecimento dos reservatórios, conhecido como “processo de eutrofização”, que depende, fundamentalmente, da disponibilidade de nutrientes no interior dos reservatórios. Estudos feitos recentemente relatam que os reservatórios do Estado do Ceará localizados nos domínios das bacias metropolitanas são alvo de diversas atividades antrópicas que causam a eutrofização nessas águas.

Todas as atividades impactantes são refletidas direta ou indiretamente na qualidade da água dos mananciais, razão pela qual, o monitoramento de variáveis bióticas e abióticas pode ser utilizado como eficiente ferramenta para se avaliar a extensão e a magnitude de cada atividade antrópica poluidora. Entre as principais causas do declínio qualitativo da qualidade da água, encontra-se a eutrofização, que traz consigo problemas ambientais e de saúde, pela potencialidade de floração de algas tóxicas (VIDAL, 2011).

O processo de eutrofização consiste num aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos, provocado pela entrada excessiva de nutrientes, principalmente, fósforo total e nitrogênio. Os nutrientes provêm dos diferentes usos dos solos nas bacias hidrográficas e o aumento de sua concentração na água tem como consequência a perda da qualidade (XAVIER, 2005).

## **OBJETIVO**

Analisar o Índice de Estado trófico no Açude Gavião, por diferentes metodologias, entre os meses de maio, agosto e novembro de 2012 e fevereiro e maio de 2013.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados foram obtidos através de análises já realizadas pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), que conta com o apoio das gerências regionais e os laboratórios da CAGECE e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE (por meio do Laboratório Integrado de Águas Mananciais e Águas Residuárias - Liamar).

Os dados disponíveis no sítio eletrônico compreendem um intervalo sazonal de três meses. Os dados utilizados para o estudo em questão são referentes aos meses de maio, agosto e novembro de 2012 e fevereiro e maio de 2013, sendo o período de um ano consecutivo de monitoramento, representando, o período de estiagem (agosto e novembro de 2012) e o

período chuvoso (maio de 2012 e fevereiro e maio de 2013). Todas as análises foram interpretadas de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, para Águas Doces Classe 2, ambiente lântico.

A seguir, estão descritas as metodologias aplicadas para o cálculo do IET do Açude Gavião.

### - Metodologia Lamparelli/CETESB

O Índice do Estado Trófico (IET) utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, foi descrito por Carlson e modificado por Lamparelli (2004); tendo como finalidade classificar corpos d'água em diferentes níveis 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 desenvolvimento de macrófitas aquáticas. (BARZAN, 2007).

Para o cálculo do IET são necessários dois parâmetros: o fósforo e a clorofila *a*. O fósforo é o nutriente que atua como o causador do processo de eutrofização. Suas principais fontes são: esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes, excrementos de animais, dissolução de compostos do solo e decomposição da matéria orgânica.

Por outro lado, a avaliação da clorofila *a* deve ser considerada como uma medida de resposta do manancial ao agente causador do processo, indicando o nível de crescimento de algas em suas águas.

A CETESB utiliza o IET para o fósforo total - IET(PT) e o IET para a clorofila *a* - IET(CL) no cálculo do IET final, segundo as equações para reservatórios:

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) \quad \text{Equação (1)}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g.L}^{-1} = \text{mg/m}^3$ )

CL = concentração de clorofila *a* medida à superfície da água ( $\mu\text{g.L}^{-1} = \text{mg/m}^3$ )

ln = logaritmo natural (neperiano)

Nos meses em que estejam disponíveis os dados de ambas as variáveis, o cálculo do IET mensal deverá ser a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e à clorofila, conforme a Equação 3.

$$\text{IET} = [\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}] / 2 \quad \text{Equação (3)}$$

Para a classificação do IET, foram considerados os graus de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, conforme Tabelas 1 e 2.

Estado trófico	IET	P total ( $\mu\text{g/L}$ )	Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$233 < P$	$69,05 < \text{CL}$

**Tabela 1: Classificação do estado trófico para reservatórios segundo o Índice de Carlson modificado por Lamparelli.**

Fonte: CETESB, 2010.

<b>Classes de Estado Trófico</b>	<b>Características</b>
<b>Ultraoligotrófico</b>	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
<b>Oligotrófico</b>	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
<b>Mesotrófico</b>	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
<b>Eutrófico</b>	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.
<b>Supereutrófico</b>	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.
<b>Hipereutrófico</b>	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.

Tabela 2: Classes de Estado Trófico e suas características principais.

Fonte: ANA apud CETESB (2007); LAMPARELLI (2004), adaptado.

#### - Metodologia Toledo/COGERH

A COGERH conta com um programa de monitoramento trimestral (fev/mai/ago/nov) dos principais açudes do Estado do Ceará, o qual são efetuadas análises de fósforo total, nitrogênio total, clorofila-a e contagem e identificação de fitoplâncton nas amostras de água coletadas.

Para a determinação do estado trófico e validação dos resultados são levados em consideração os aspectos de: ÍET de Carlson adaptado por Toledo, nutriente limitante, volume armazenado no açude, observações das gerências regionais, contagem de cianobactérias e intensidade de plantas aquáticas presentes no espelho d'água (COGERH, 2014).

A metodologia utilizada pela COGERH baseia-se no cálculo do IET (para reservatórios) por meio das equações 4 e 5, a seguir:

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (\ln(80,32/\text{PT})/\ln 2)) \quad \text{Equação (4)}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((2,04 - 0,695 \times \ln \text{CL})/\ln 2)) \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g.L}^{-1} = \text{mg/m}^3$ )

CL = concentração de clorofila *a* medida à superfície da água ( $\mu\text{g.L}^{-1} = \text{mg/m}^3$ )

ln = logaritmo natural (neperiano)

Para a classificação do IET, foram considerados os seguintes graus de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico, conforme Tabela 3.

Estado trófico	IET	P total (mg/L)	Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 24$	$P \leq 0,006$	$\text{CL} \leq 0,51$
Oligotrófico	$24 < \text{IET} \leq 44$	$0,007 < P \leq 0,026$	$0,52 < \text{CL} \leq 3,81$
Mesotrófico	$44 < \text{IET} \leq 54$	$0,027 < P \leq 0,052$	$3,82 < \text{CL} \leq 10,34$
Eutrófico	$54 < \text{IET} \leq 74$	$0,053 < P \leq 0,211$	$10,35 < \text{CL} \leq 76,06$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 74$	$201 < P$	$76,06 < \text{CL}$

**Tabela 3: Limites para diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Toledo (1990).**

Fonte: COGERH, 2014.

Na inexistência de dados de clorofila-a ou fósforo total, o Índice de Estado Trófico é calculado com o parâmetro disponível, sendo que para definir o estado trófico do açude sempre se busca validar o resultado com os demais aspectos considerados.

## RESULTADOS

A Tabela 4 mostra os dados dos parâmetros ambientais avaliados fornecidos pela COGERH nos anos de 2012 e 2013.

2012	Fósforo total (mg/L P)	Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )
Maio	0,13	33,64
Agosto	0,01	34,18
Novembro	0,04	48,24
2013	Fósforo total (mg/L P)	Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )
Fevereiro	0,086	27,77
Maio	0,010	13,97

**Tabela 4: Resultado dos parâmetros analisados em laboratório nos meses avaliados.**

Levando-se em consideração a Resolução CONAMA N° 357/05, o parâmetro Fósforo total, apresentou valores acima do máximo permitido pela legislação, que é de 0,03mg/L, para ambiente lêntico, classe 2, em quase todos os meses coletados, com exceção dos meses de Agosto de 2012 e maio de 2013, o qual obteve um valor abaixo do limite permitido. Já

o parâmetro Clorofila *a* apresentou-se em desacordo com a Resolução (que estabelece VMP de 30µg/L) durante o ano de 2012, enquanto em 2013 os valores obtidos encontraram-se dentro do limite permitido por lei.

A Tabela 5, logo abaixo, ilustra os resultados de IET obtidos com o uso da metodologia Lamparelli.

<b>Ano 2012</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>IET médio</b>	<b>Estado trófico</b>
Maio	63,96	63,97	63,97	Supereutrófico
Agosto	48,42	64,05	56,23	Mesotrófico
Novembro	56,82	65,74	61,28	Eutrófico
<b>Ano 2013</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>IET médio</b>	<b>Estado trófico</b>
Fevereiro	61,45	63,03	62,24	Eutrófico
Maio	48,42	59,66	54,04	Mesotrófico

**Tabela 5: Resultado dos Índices de Estado Trófico mensal.**

Já a Tabela 6, logo abaixo, ilustra os resultados de IET obtidos com a aplicação da metodologia Toledo.

<b>Ano 2012</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>IET médio</b>	<b>Estado trófico</b>
Maio	66,95	74,85	70,90	Eutrófico
Agosto	29,94	75,01	52,48	Mesotrófico
Novembro	49,94	78,47	64,20	Eutrófico
<b>Ano 2013</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>IET médio</b>	<b>Estado trófico</b>
Fevereiro	60,99	72,93	66,96	Eutrófico
Maio	29,94	66,04	47,99	Mesotrófico

**Tabela 6: Resultado dos Índices de Estado Trófico mensal.**

Nota-se que os resultados obtidos através das duas metodologias mostraram-se semelhantes, com exceção de maio de 2012, no qual a metodologia de Lamparelli classifica o IET médio como supereutrófico, categoria esta, que inexiste na metodologia de Toledo.

## **CONCLUSÃO**

Como análise dos resultados pode-se destacar que o IET(CL) permaneceu sem grandes variações, quando comparado com o IET(PT), no período monitorado. Também, pode-se destacar que nas duas metodologias, os maiores valores de Fósforo Total e, conseqüentemente, o IET Médio, foram nos meses de Maio/2012 e Fevereiro/2013, ambos os meses considerados como chuvosos no Estado do Ceará. Pode-se justificar esses valores, provavelmente, em decorrência do período chuvoso ocasionando carreamento de sedimentos e com estes, nutrientes para o corpo d'água, com isso, uma elevação do grau de trofia do mesmo.

Sabe-se, ainda que outros fatores podem interferir no processo de eutrofização, como a variabilidade sazonal dos processos ambientais, havendo meses em que o fenômeno pode se desenvolver de forma mais intensa e outros que pode ser mais limitado.

Apesar dos resultados obtidos para as duas metodologias apresentarem Índices de Trofia semelhantes, a metodologia utilizada pela COGERH mostra-se mais conveniente para o

monitoramento do Açude Gavião, uma vez que para a definição do estado trófico do açude, busca-se sempre validar o resultado com os demais aspectos considerados.

Por fim, o estabelecimento de critérios, numéricos ou normativos, auxilia no estabelecimento de políticas de gerenciamento de corpos d'água. Desta forma, facilita o acompanhamento em um eventual programa de recuperação de qualidade das águas.

## **RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se o uso da metodologia utilizada pela COGERH por envolver vários aspectos, além dos parâmetros clorofila e fósforo. Ademais é bastante simples e prática na avaliação da qualidade de corpos d'água, além de fácil interpretação e divulgação dos resultados para o público.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA**

1. APHA; 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. American Public Health Association. 20ª Ed. – Washington D.C. 953p.
2. CAGECE. 2008. Disponível em: < [www.cagece.com.br](http://www.cagece.com.br)>. Acesso em: 20 de set. 2013.
3. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2010. IET - Índice de Estado Trófico. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 06 out. 2012.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 375 de 18 de junho de 2005. Brasília: D.O. U., 1986. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama)>. Acesso em: 05 set. 2013.
5. SOUSA, I. V. A.; Souza, R. O.; Paulino, W. D. Cálculo do Índice de Estado Trófico em Reservatório com Estudo de Caso no Reservatório Acarape do Meio. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.
6. LAMPARELLI, M. C. Tese. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo. Avaliação dos métodos de monitoramento. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
7. VIDAL, T. F. Balanço de macro nutrientes no açude Gavião/CE-uma nova abordagem. 2011. 183f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
8. XAVIER, C. F. 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. 2005. 167f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Pós Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.