

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA E O ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Stephanie de Oliveira Souza*, Gustavo Ross Ribeiro Lima, Francisco Klayton Marques de Alencar, Fernando José Araújo da Silva

* Universidade Federal do Ceará. stephanie_souza@hotmail.com

RESUMO

As águas represadas em reservatórios artificiais são vulneráveis a processos físicos, químicos e biológicos capazes de promover desequilíbrios nestes ecossistemas, como a eutrofização, em razão do elevado tempo de detenção hidráulica. O presente trabalho buscou determinar as condições ambientais do Reservatório Pereira de Miranda, Ceará, a partir do cômputo de Índices de Qualidade de Água (IQA) e de Estado Trófico (IET) para o período de 2004 a 2015. Técnicas estatísticas foram utilizadas para determinar as possíveis correlações existentes entre os índices calculados, seus parâmetros e a fração de volume disponível do reservatório de estudo. Ademais, aplicou-se simulação Monte Carlo para verificação da probabilidade de ocorrência das classes do IQA e do IET. Os resultados evidenciaram tendências divergentes nas análises dos índices aplicados, fortes correlações entre alguns parâmetros e uma maior probabilidade de ocorrência da classe de qualidade Boa e do estado Eutrófico.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de qualidade da água, índice de estado trófico, simulação Monte Carlo.

INTRODUÇÃO

Frequentemente, o cenário de escassez hídrica é enfrentado com a implantação de reservatórios artificiais (AMMAR *et al.*, 2017). Isso explica a ocorrência de milhares destes visando o armazenamento de água para os períodos de estiagem no trópico semiárido brasileiro. No início do século, o número estimado de açudes, de todos os tipos e tamanhos, no estado do Ceará era de cerca de 30.000, revelando o quadro hídrico da região (MENESCAL *et al.*, 2001). Os reservatórios do semiárido brasileiro são empregados para contornar a situação imposta por condicionantes ambientais, tais como altas temperaturas e baixos índices pluviométricos. Contudo, em razão do elevado tempo de detenção hidráulica, é favorecida a ocorrência de processos físicos, químicos e biológicos capazes de promover desequilíbrios consideráveis nestes ecossistemas lacustres (MOSLEY, 2015). O intenso e diversificado uso dos lagos, mananciais e bacias hidrográficas motiva o estabelecimento de formas de manejo sustentado e de gerenciamento desses ecossistemas. Para isso, torna-se necessária uma monitorização sistemática que disponibilize informações, as quais permitam avaliar a evolução da qualidade do corpo aquático e conhecer as tendências de sua variação.

Com base no contexto acima, os índices de qualidade de água (IQA) e de estado trófico (IET) são importantes ferramentas de avaliação. São utilizados para orientar classificações com base em um conjunto de parâmetros de qualidade aceitos para um fim desejado, caracterizando e simplificando o entendimento das condições do meio estudado. Servem também para identificar distúrbios e tendências de um corpo hídrico em um determinado tempo específico (BORGES; GUIMARÃES, 2000; SREEDHAR *et al.*, 2017). Os índices podem comunicar estados diferentes quanto à satisfação de critérios de qualidade.

OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo computar e averiguar através de técnicas estatísticas possíveis relações entre os Índices de Qualidade de Água (IQA) e de Estado Trófico (IET) em águas de um reservatório no semiárido brasileiro.

METODOLOGIA

O reservatório estudado é o Pereira de Miranda, também conhecido como açude Pentecoste, localizado no Estado do Ceará. Encontra-se entre as coordenadas geográficas 470.964 E e 9.579.848 N e faz parte da bacia hidrográfica do rio Curu. Foi construído, represando o rio Canindé, entre os anos de 1950 e 1957 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Possui uma capacidade de armazenamento de 395.638.000 m³, bacia hidrográfica de 2.840 Km² e bacia hidráulica de cerca de 5.700 ha (CEARÁ, 2017). O açude tem como propósitos: o abastecimento de água, a irrigação, a geração de energia elétrica, a piscicultura e o controle das cheias do rio Curu (DNOCS, 2017). O açude Pentecoste nos últimos anos (2004 a 2017) apresentou redução considerável no volume disponível devido à estiagem prolongada na região. O mapa de localização da área em estudo é ilustrado na Figura 1.

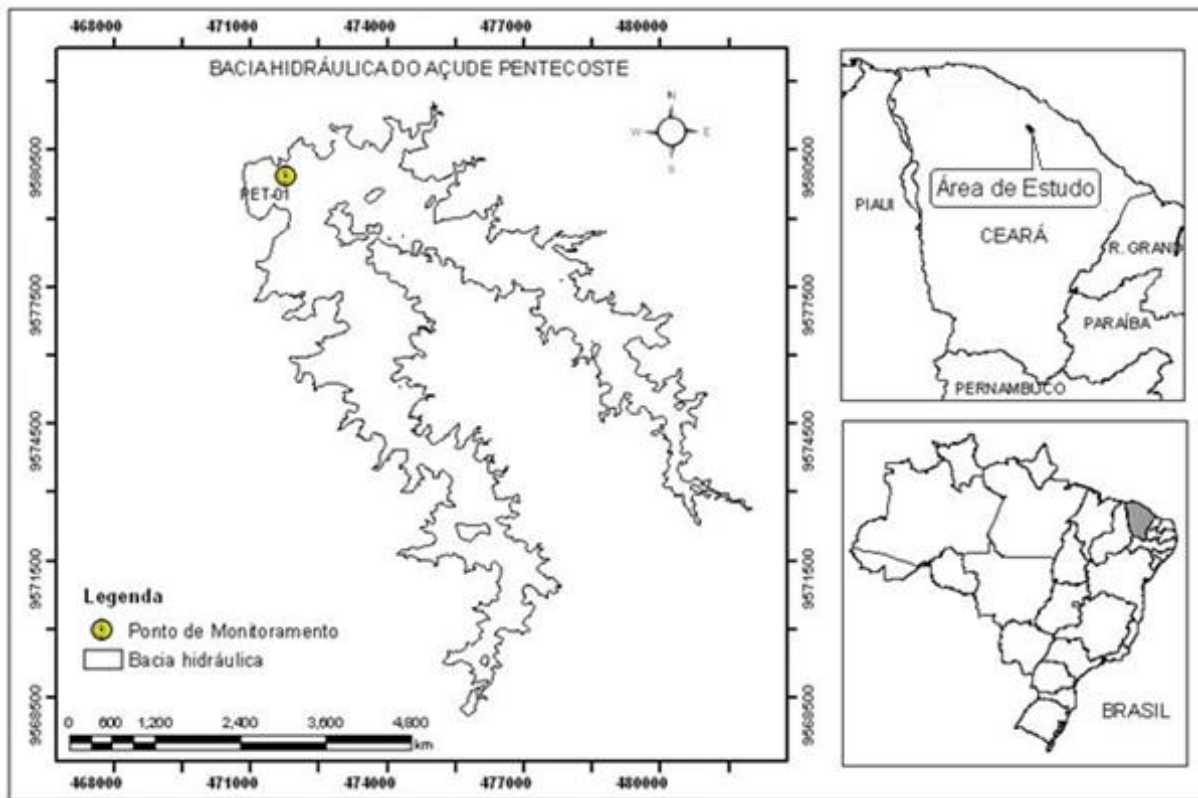


Figura 1: Localização do Açude Pentecoste.
Fonte: Adaptado de França *et al.* (2013).

Parâmetros de qualidade da água

Utilizou-se para o cômputo do IQA e IET dados de qualidade de água do açude Pentecoste referentes ao período de 2004 a 2015 disponibilizados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH). O monitoramento da qualidade da água do reservatório foi relativo ao ponto de coleta próximo à torre de tomada d'água (PET-01), junto ao barramento, com coleta de amostras à profundidade de cerca de 0,30 m abaixo da superfície líquida. O ponto de coleta estava sob as coordenadas (UTM): 9579898 e 471708, com elevação aproximada de 53 m (a.n.m). Dados da fração de volume disponível do reservatório (volume disponível/volume total) obtidos no Portal Hidrológico do Ceará foram usados para apurar a influência desse fator operacional sobre o IQA e o IET.

A metodologia empregada para o cálculo do IQA foi a adaptação do Índice de Qualidade de Água da *National Sanitation Foundation* (NSF) proposta pela Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (CETESB, 2017a). O IQA resume as variáveis analisadas em um único número adimensional, variando de 0 a 100. O valor do IQA foi calculado pelo produto ponderado das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de água, como: temperatura da amostra (T), pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (CT), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), sólidos totais (ST) e turbidez. Dessa forma, no cálculo do IQA são consideradas variáveis de qualidade que indicam o lançamento de efluentes sanitários para o corpo d'água, dando condições de avaliar a qualidade das águas superficiais (CETESB, 2017b). O IQA é expresso pela seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{equação (1)}$$

Em que q_i é a qualidade do parâmetro i obtido através de curva média específica de qualidade e w_i é peso atribuído ao parâmetro i , em função da sua importância na qualidade, entre 0 e 1. Os valores de IQA são classificados em classes, conforme a Tabela 1, que exprimem a qualidade da água para o abastecimento público, refletindo a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos (IGAM, 2014).

Tabela 1. Classificação da qualidade de água segundo o IQA.
Fonte: CETESB (2017a).

Valor	Avaliação
$79 < IQA \leq 100$	Ótima
$51 < IQA \leq 79$	Boa
$36 < IQA \leq 51$	Razoável
$19 < IQA \leq 36$	Ruim
$IQA \leq 19$	Péssima

Para a classificação do grau de trofia foi empregado o Índice de Estado Trófico de Lamparelli (2004), que atualmente é utilizado pela CETESB. O IET avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias (CETESB, 2017b). Considerou-se as variáveis clorofila-a (Cla) e fósforo total (PT) para o cálculo do IET. Não foram usados valores de transparência, pois este parâmetro pode ser afetado pela elevada turbidez decorrente do material mineral em suspensão, e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, não representando o real estado de trofia existente (IGAM, 2014).

O cômputo do IET total, foi feito a partir da média aritmética do IET parcial para a clorofila-a (IET_{Cla}) e do IET parcial para o fósforo total (IET_{PT}), conforme as equações 2 e 3.

$$IET_{Cla} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \times \ln Cla}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{equação (2)}$$

$$IET_{PT} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{equação (3)}$$

Em que Cla é a concentração de clorofila-a em $\mu\text{g/L}$ e PT é a concentração de fósforo total em $\mu\text{g/L}$. Ao final, os resultados obtidos foram classificados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do estado trófico proposto por Lamparelli (2004).
Fonte: Lamparelli (2004).

Valor	Classificação
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófico
$IET > 67$	Hipereutrófico

Abordagem estatística

A partir de 41 observações disponíveis entre os anos de 2004 e 2015 do ponto de monitoramento PET- 01 do açude Pentecoste, os parâmetros necessários para o cálculo dos índices foram organizados em uma planilha de Excel. Computou-se os valores do IQA e IET anuais a partir das médias aritméticas mensais referentes ao ponto de monitoramento da qualidade da água PET- 01. A fração de volume disponível anual (%) do reservatório de estudo foi calculado a partir da média geométrica dos volumes mensais. Ao final, os valores dos índices foram enquadrados segundo as classes de qualidade de água e de estado trófico.

O método estatístico conhecido como correlação de *Pearson* ($\alpha = 0,05$) foi utilizado para definir as possíveis correlações existentes entre os índices, seus parâmetros e a fração de volume disponível anual do reservatório. Por último, verificou-se a probabilidade de ocorrência das classes do IQA e dos estados tróficos do IET para o reservatório do estudo por meio da simulação Monte Carlo, com 1000 iterações sob hipótese de distribuição normal dos valores de IQA e IET (coeficiente de variação $\leq 19\%$).

RESULTADOS

De acordo com a Tabela 3, o açude Pereira de Miranda no período analisado apresentou águas com qualidade variando entre Boa e Ótima, estado trófico predominantemente Eutrófico e diminuição da sua fração de volume disponível com o decorrer dos anos. Esses resultados mostram uma incoerência, já que comunicam estados diferentes de qualidade do corpo d'água no intervalo de tempo apresentado.

Tabela 3. IQA, IET e fração de volume disponível do açude Pereira de Miranda no período de 2004 a 2015.

Ano	IQA	Avaliação	IET	Classificação	Fração de volume disponível (%)
2004	71	Boa	65	Supereutrófico	83,1
2005	73	Boa	62	Eutrófico	53,7
2006	51	Razoável	61	Eutrófico	60,6
2007	75	Boa	63	Eutrófico	56,2
2008	68	Boa	61	Eutrófico	65,1
2009	83	Ótima	59	Eutrófico	85,4
2010	78	Boa	62	Eutrófico	57,6
2011	80	Ótima	61	Eutrófico	63,5
2012	80	Ótima	62	Eutrófico	33,5
2013	80	Ótima	64	Supereutrófico	13,2
2014	72	Boa	66	Supereutrófico	3,3
2015	66	Boa	69	Hipereutrófico	1,2

IQA, IET, seus respectivos parâmetros e dados da fração de volume disponível anual do açude Pentecoste foram submetidos à análise de correlação de *Pearson*. Os principais resultados e aqueles obtidos com correlação forte ($0,70 \leq r < 1$ ou $-1 < r \leq -0,70$) são apresentados na Tabela 4. Os resultados mostram correlações positivas fortes entre clorofila-a e turbidez, IET e turbidez, e uma correlação negativa forte para os sólidos totais e o oxigênio dissolvido.

Tabela 4. Resultados da análise de correlação de Pearson entre IQA, IET, seus respectivos parâmetros e a fração de volume disponível anual (%) do açude Pereira de Miranda.

Parâmetros	Coefficiente de <i>Pearson</i> (r)
ST x OD	-0,936
Clorofila-a x Turbidez	0,971
IET x Turbidez	0,837
IET x IQA	-0,192
Fração de volume disponível anual x IQA	0,049
Fração de volume disponível anual x IET	-0,742

A turbidez representa a atenuação do feixe de luz ao atravessar a água, que neste caso está diretamente relacionada com a clorofila-a, representante da biomassa vegetal, e com o IET, indicador de enriquecimento dos corpos d'água por nutrientes, que ocasionam o espalhamento da luz. Assim, a forte correlação positiva entre a clorofila-a e a turbidez evidencia que a biomassa vegetal é em grande parte a causadora da turbidez presente no açude Pentecoste. Além disso, a turbidez provocada pela lixiviação de material orgânico e inorgânico quando associada à ação dos ventos pode provocar a ressuspensão de sedimento, que contribui para recolocar em circulação os nutrientes, principalmente o fósforo componente do cálculo do IET (CUNHA *et al.*, 2013).

A presença de sólidos totais em excesso pode tanto alterar a incidência luminosa na água interferindo na realização da fotossíntese pelos organismos autotróficos, reduzindo a produção de oxigênio, como o conteúdo salino presente pode reduzir a solubilidade do oxigênio dissolvido na água. O oxigênio dissolvido é um importante indicador de qualidade da água, já que baixas concentrações podem indicar processos de eutrofização e prejuízo dos processos bioquímicos e biológicos, como oxidação da matéria orgânica, respiração e processos metabólicos celulares (NORIEGA *et al.*, 2005).

Uma forte correlação negativa entre a fração de volume disponível anual e o IET evidencia a elevação do grau de trofia em consonância com a redução do volume disponível do açude. As altas taxas de evaporação aliadas às precipitações irregulares ao longo do ano contribuem para a redução do volume dos reservatórios das regiões semiáridas, que favorece a concentração de solutos e nutrientes na água, promovendo assim mudanças no estado trófico do reservatório. Em relação ao IET e IQA, não houve correlação significativa entre esses índices, o que também não ocorreu para a fração de volume disponível anual e o IQA. Segundo Piasentin *et al.* (2009), o IQA não é um indicador do nível de

degradação do corpo hídrico, o que justifica as classes obtidas de qualidade de água no açude Pereira de Miranda. Já o estado trófico reflete a elevada produtividade primária deste corpo hídrico, demonstrando que o IQA não é um indicador abrangente.

Os resultados da probabilidade de ocorrência das diferentes classes do IQA e do IET para o reservatório do estudo são mostrados na Tabela 5. Baseado na simulação Monte Carlo, verificou-se que a classe com maior probabilidade de ocorrência do IQA é a Boa com 76,10%, enquanto que para o IET a maior probabilidade de ocorrência é o estado Eutrófico com 54,40%.

Tabela 5. Probabilidade de ocorrência das classes do IQA e estados tróficos do IET para o açude Pereira de Miranda.

IQA		IET	
Avaliação	Probabilidade (%)	Classificação	Probabilidade (%)
Ótima	23,80	Ultraoligotrófico	0,00
Boa	76,10	Oligotrófico	0,00
Razoável	0,10	Mesotrófico	13,60
Ruim	0,00	Eutrófico	54,40
Péssima	0,00	Supereutrófico	26,90
-	-	Hipereutrófico	5,10

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostraram que não há correlação significativa entre o IQA e o IET para o açude Pereira de Miranda no intervalo de tempo considerado. Ademais, a avaliação isolada do IQA não é indicada para determinar o estado de conservação do reservatório, sob o risco de oscilações dos próprios parâmetros do índice serem amenizados mutuamente, produzindo um descritor de qualidade falho. Assim, o IET se mostrou mais eficiente na mensuração da qualidade do corpo d'água estudado.

A simulação Monte Carlo também evidenciou o contraste entre o IQA e o IET ao mensurar a probabilidade de ocorrência de suas classes. Verificou-se ainda a elevação do grau de trofia com a redução do volume do reservatório, evidenciando a influência das características climáticas próprias da região semiárida sobre a produtividade primária do reservatório.

Por fim, sugere-se o estabelecimento de medidas progressivas para a melhoria das águas do açude Pereira de Miranda em seus aspectos qualitativos, com foco nos propósitos mais nobres a que essas águas se destinam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ammar, R.; Kazpard, V.; El Samrani, A. G.; Amacha, N.; Saad, Z.; Chou, L. Hydrodynamic influence on reservoir sustainability in semi-arid climate: A physicochemical and environmental isotopic study. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 571-581, 2017.
2. Borges, J. T.; Guimarães, J. R. Utilização do índice de qualidade de águas (IQA – CETESB) e do índice de estado trófico (IET – CARLSON) para classificar a qualidade das águas da lagoa do Taquaral - Campinas-SP. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 23. 2000. Poços de Caldas. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/0386-1/index.html>>. Acesso em: 28 nov. 2017.
3. Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará.** Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=175&status=0>. Acesso em: 20 nov. 2017.
4. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas.** São Paulo: CETESB, 2017a. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas-1.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
5. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016.** São Paulo: CETESB, 2017b. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2017_02-06_VF.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.
6. Cunha, R. W.; Garcia Jr, M. D.; Albertoni, E. F.; Palma-Silva, C. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, 2013.

7. Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. **Arquivo Técnico**. Processos do açude Pereira de Miranda. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/pentecoste.htm>>. Acesso: em: 20 nov. 2017.
8. França, J. M. B.; Wachholz, F.; Neto, J. A. C.; Paulino, W. D. Comportamento das variáveis qualitativas do açude Pereira de Miranda-Pentecoste/CE, no período de estiagem. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 586-599, 2013.
9. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013: **resumo executivo**. Belo Horizonte: IGAM, 2014. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/qualidade_aguas/2014/resumo-executivo-2013.pdf>. Acesso: em: 20 nov. 2017.
10. Lamparelli, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 238f. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
11. Menescal, R. A.; Oliveira, S. K. F.; Fontenelle, A. S.; Vieira, V. P. P. B. Acidentes e incidentes em barragens no Estado do Ceará. *In*: XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, 24., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2001.
12. Mosley, L. M. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. **Earth-Science Reviews**, v. 140, p. 203-214, 2015.
13. Noriega, C. D.; Costa, K. M. P.; Feitosa, F. A. N.; Montes, M. J. F.; Grego, C. K. S.; Soares, G. S. S.; Silva, H. P. Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco–Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 38, n. 1-2, p. 5-18, 2005.
14. Piasentin, A. M.; Semensatto Jr, D. L.; Saad, A. R.; Monteiro Jr, A. J.; Raczka, M. F. Índice de qualidade da água (IQA) do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.
15. Sreedhar, Y.; Nagaraju, A. Groundwater quality around Tummalapalle área, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 7, p. 4077-4089, 2017.