

IV-164 - USO DE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DA MARAPONGA, FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

Marcio Roberto Pereira dos Santos⁽¹⁾

Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos do IFCE. Bolsista do PIBIC/FUNCAP.

Lyndervan Oliveira de Alcântara⁽²⁾

Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos do IFCE. Bolsista do PIBIC/FUNCAP.

Raimundo Bemvindo Gomes⁽³⁾

Engenheiro de Alimentos pela UFC. Mestre em Engenharia Civil pela UFPB. Professor do Departamento de Química e Meio Ambiente, Campus Fortaleza, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

Hugo Leonardo de Brito Buarque⁽⁴⁾

Engenheiro Químico pela UFC. Mestre em Engenharia Química pela UFRN. Doutor em Física pela UFC. Professor do Departamento de Química e Meio Ambiente, Campus Fortaleza, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

Endereço⁽⁴⁾: DQMA/IFCE. Av. Treze de Maio, 2081 – Benfica, CEP: 60040-531 – Fortaleza/CE - Fone: (85) 3307.3666 Fax: (85) 3307.3711 - E-mails: marcio_xp@hotmail.com; hbuarque@ifce.edu.br.

RESUMO

O Parque Ecológico da Lagoa da Maraponga é utilizado pela população de diversos bairros de Fortaleza e de algumas cidades da Região Metropolitana para o desenvolvimento de atividades de lazer (e.g., banhos, passeios, canoagem). A área do parque apresenta diferentes problemas ambientais e sociais que vêm afetando a qualidade da água do sistema lacustre. O presente estudo objetivou avaliar os fatores determinantes na qualidade da água da Lagoa da Maraponga, Fortaleza, Ceará, utilizando métodos estatísticos multivariados, como também relacionar os resultados obtidos com os índices pluviométricos no período de agosto de 2006 a fevereiro de 2009. Para isso, foram coletadas amostras superficiais de água em três pontos distintos do corpo hídrico estudado. A partir dos métodos propostos e de um conjunto, inicialmente, de 33 parâmetros de qualidade, foram selecionadas oito variáveis físico-químicas como as mais representativas do comportamento do ecossistema lacustre urbano. A análise fatorial foi aplicada considerando estas 8 variáveis selecionadas, e duas componentes principais foram obtidas do conjunto de dados. Estas traduziram as características que mais sofrem influência das ações naturais e antrópicas atuando sobre o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoa da Maraponga, IQA, análise multivariada, análise fatorial.

INTRODUÇÃO

A Lagoa da Maraponga é um Parque Ecológico do Município de Fortaleza, Ceará, criado pelo Decreto Municipal Nº 21.349/91, com área de 31 hectares, localizada na Avenida Godofredo Maciel, no bairro Maraponga. A área em questão apresenta diferentes problemas que sempre têm afetado a qualidade do sistema lacustre, refletindo diretamente os aspectos socioambientais das comunidades de baixa renda já inseridas em áreas de riscos (CEARÁ, 2011).

No ano de 2006, a Prefeitura Municipal de Fortaleza iniciou um trabalho de monitoramento e limpeza deste e de vários outros ecossistemas lacustres urbanos de Fortaleza, Ceará (FORTALEZA, 2006). Atualmente, a Lagoa da Maraponga compõe um pólo de lazer que é utilizado pela população de diversos bairros de Grande Fortaleza para o desenvolvimento de atividades, tais como: banhos, passeios, canoagem, dentre outros. Observaram-se, também, atividades comerciais aos domingos, que é o dia da semana em que o Parque Ecológico recebe um número maior de frequentadores (CHAVES, 2010).

A quantificação da carga poluidora que aporta num corpo d'água é um elemento fundamental para qualquer manejo que objetive a conservação e o uso sustentável da água. Através da análise integrada entre os dados de qualidade da água e as características de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, juntamente com a distribuição da população urbana e a disponibilidade de infraestrutura urbana e industrial, torna-se possível definir relações de causa e efeito entre as condições de ocupação da bacia e a qualidade da água (ZIMMERMANN et al., 2008).

Um índice de qualidade de água (IQA), adequado ao manancial estudado, pode ser determinado por métodos da Análise Fatorial, a partir da seleção de variáveis correlacionáveis, mas independentemente importantes na avaliação da qualidade das águas do corpo hídrico. Em resumo, tal técnica representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros (TOLEDO, NICOLELLA, 2002).

Assim, o presente estudo objetivou avaliar os fatores relevantes na caracterização da qualidade da água da Lagoa da Maraponga, utilizando análise fatorial para determinar, através da definição de um índice de qualidade de água (IQA), os fatores que refletem as variações no comportamento do sistema estudado, como também, avaliar influência da precipitação pluviométrica sobre tais variações no corpo hídrico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção dos dados de qualidade de água da Lagoa da Maraponga.

Para a determinação dos fatores de qualidade da água do ecossistema lacustre estudado foram compilados dados de qualidade de três pontos de coleta distribuídos pela lagoa como ilustra a Figura 1. Na Tabela 1 está disposta a localização geográfica de cada ponto. Nestes pontos, amostras superficiais (30 a 50 cm de profundidade) foram coletadas bimestralmente, no período de agosto de 2006 a fevereiro de 2009, no âmbito de convênio entre a Prefeitura Municipal de Fortaleza, o Centro de Pesquisa e Qualificação Tecnológica e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Foram determinados e usados na análise fatorial trinta e três parâmetros físicos e químicos para tais amostras.

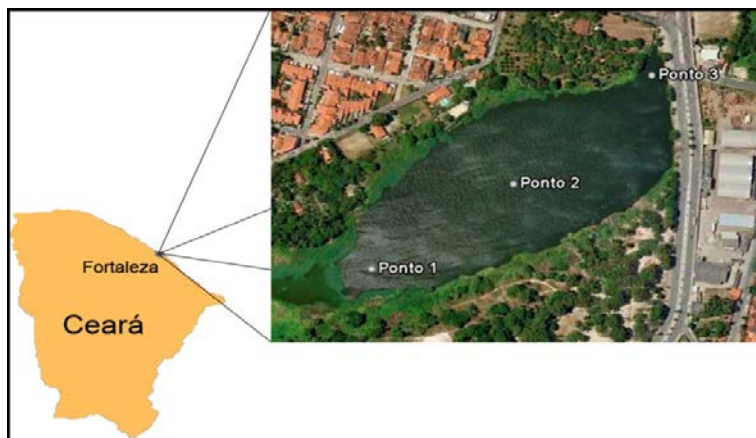


Figura 1 – Ilustração da localização dos pontos de coleta na Lagoa da Maraponga.

Tabela 1 - Localização georreferenciada dos pontos de coleta na Lagoa da Maraponga.

PONTOS DE COLETA	REFERÊNCIA LOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Ponto 1	Entrada do tributário principal	3°47'406"S / 38°05'267"O
Ponto 2	Centro	3°47'347"S / 38°34'180"O
Ponto 3	Sangradouro	3°47'252"S / 38°34'012"O

Dos trinta e três parâmetros inicialmente considerados, oito parâmetros foram selecionados como representativos das variações na qualidade da água, e assim, para compor o IQA. A seleção se baseou em critérios de adequação à análise fatorial, tal como o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), cujo valor superior a 0,700 é considerado satisfatório (HAIR JR et al., 2005). Ressalte-se que a maioria das correlações de Pearson obtidas teve significância inferior a 0,05. Deste modo, variáveis selecionadas foram: cor verdadeira (CV),

turbidez (TURB), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), ortofosfato solúvel (OPS), sulfato (SO₄), teor de manganês (Mn) e Ferro (Fe).

Tratamentos dos dados e obtenção do IQA.

O registro eletrônico e a uniformização da formatação dos dados, obtidos experimentalmente nas campanhas de coleta, foram realizados utilizando o aplicativo computacional de planilhas eletrônicas Microsoft® Excel® 2010. Foi utilizado o programa computacional OriginLab® 8.0 para a elaboração dos gráficos apresentados.

Para o tratamento prévio dos dados (descrição estatística, identificação de valores atípicos, etc.), bem como para a obtenção de uma expressão para o IQA, através de técnicas multivariadas de análise fatorial (obtenção das matrizes correlação para os parâmetros considerados, extração e definição dos componentes principais, obtenção de escores fatoriais), foi utilizado o programa computacional SPSS® 13.0 for Windows.

Assim, a partir dos dados de qualidade determinados e devidamente formatados eram determinadas as matrizes correlação e matrizes anti-imagem, além do critério de adequação KMO das variáveis. Assim, a partir de um conjunto de dados com 33 parâmetros a análise fatorial era desenvolvida e os valores obtidos para o KMO eram verificados. O parâmetro com menor valor de medida de adequação da amostra era então eliminado. Fez isso até que somente restassem três parâmetros.

Os conjuntos de parâmetros que forneceram KMO superior a 0,700 foram usados na determinação de suas componentes principais, utilizando-se o critério da raiz latente, e sem rotação, e posteriormente analisados.

Finalmente, para o melhor conjunto de parâmetros, os escores fatoriais foram obtidos, utilizando-se o Método de Bartlett, e utilizados como índice de qualidade de água da Lagoa da Maraponga, Fortaleza, Ceará.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os oito parâmetros selecionados, e já mencionados, foram aqueles que forneceram o maior valor de KMO de acordo com esta metodologia, como também aqueles que apresentaram comunalidades elevadas e significâncias de correlações inferiores a 0,05.

A seleção destes oito parâmetros, a partir do procedimento estatístico, sugere que as influências sofridas pelo corpo aquático estudado ao longo do período considerado alteram de forma correlacionada as características visuais e nutricionais do ecossistema lacustre, traduzidas respectivamente nos parâmetros cor verdadeira, turbidez, sólidos totais e sólidos totais voláteis, teores de sulfatos, de manganês e de ferro; e no parâmetro teor de ortofosfato solúvel.

Desta forma, para os oito parâmetros selecionados foram calculadas as estatísticas descritivas para analisar o comportamento das variáveis ao longo do período avaliado. Na Tabela 2 estão dispostos os valores destas estatísticas. Como se pode observar, todas as variáveis apresentaram coeficientes de variação inferiores a 100%, mostrando que os parâmetros se apresentaram estáveis durante o período estudado e indicando que os dados são adequados para a utilização da análise estatística.

Tabela 2 – Estatística descritiva básica das variáveis estudadas nos pontos de coleta.

PARÂMETROS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
CV (uH)	18	61	34	10	29%
TURB (uT)	10	28	16	3	19%
ST (mg/L)	325	874	512	120	23%
STV (mg/L)	18	553	157	105	67%
OPS (mg/L)	0	0,225	0,066	0,052	80%
SO ₄ (mg/L)	1,5	47,7	17,0	8,5	50%
Mn (mg/L)	0,002	0,114	0,032	0,016	49%
Fe (mg/L)	0,05	0,799	0,217	0,126	58%

A partir da metodologia proposta e dos dados levantados também foi obtida a matriz de correlação para o conjunto de dados utilizados (8 parâmetros e 15 amostras bimestrais), a matriz de correlação do sistema é apresentada na Tabela 3. Todos os parâmetros apresentaram, no mínimo três correlações maiores que 0,500; o que demonstra uma forte correlação entre as variáveis.

Tabela 3 – Matriz de correlação dos dados estudados.

	CV	TURB	ST	STV	OPS	SO4	Mn	Fe
CV	1							
TURB	0,407	1						
ST	0,047	0,531	1					
STV	0,221	0,572	0,716	1				
OPS	0,583	0,245	0,214	0,349	1			
SO4	0,558	0,513	0,245	0,351	0,524	1		
Mn	0,473	0,609	0,537	0,535	0,413	0,587	1	
Fe	0,661	0,517	0,354	0,317	0,393	0,436	0,758	1

De acordo com o procedimento sugerido e a partir da matriz de correlação obtida foram extraídas duas componentes principais para o sistema. As cargas fatoriais determinadas para estas componentes e o percentual de variância total explicada para os mesmos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Componentes (fatores) principais e suas respectivas cargas fatoriais e variância total.

FATOR	VARIÂNCIA EXPLICADA	CV	TURB	ST	STV	OPS	SO4	Mn	Fe
1	52,6%	0,684	0,768	0,620	0,692	0,626	0,732	0,865	0,782
2	17,8%	-0,594	0,246	0,673	0,526	-0,390	-0,280	0,059	-0,214

A primeira componente pode fornecer um IQA propriamente dito, cujo valor aumentaria ou diminuiria com o aumento ou com a diminuição do valor de todos os parâmetros, respectivamente, já que todas as cargas fatoriais são positivas, sugerindo um sistema mais degradado para valores mais elevados do IQA, enquanto que para valores mais baixos, um sistema mais equilibrado.

Também se pode inferir a partir da segunda componente que esta representa uma competição entre as características relacionadas aos materiais dissolvidos e que podem, inclusive, conferir cor, representados pelos parâmetros CV, OPS, SO4 e Fe, e aos materiais sólidos, particularmente os suspensos, representados pelos parâmetros TURB, ST e STV (o teor de manganês tem carga fatorial absoluta relativamente baixa nessa componente).

Assim, a partir da extração das componentes principais foi utilizado o critério de Bartlett para estimar coeficientes fatoriais que minimizam a variância de erro, sendo estes adotados como peso na obtenção dos escores fatoriais (EF). Deste modo, indicadores de qualidade da água, IQA₁ e IQA₂, foram determinados a partir das equações utilizadas para obter os EF, as quais estão expressas respectivamente nas equações Eq. 01 e Eq. 02.

$$IQA_1 = 0,163Z_1 + 0,182Z_2 + 0,147Z_3 + 0,164Z_4 + 0,149Z_5 + 0,174Z_6 + 0,206Z_7 + 0,186Z_8 \quad [Eq. 01]$$

$$IQA_2 = -0,417Z_1 + 0,173Z_2 + 0,474Z_3 + 0,370Z_4 - 0,274Z_5 - 0,197Z_6 + 0,042Z_7 - 0,151Z_8 \quad [Eq. 02]$$

em que Z_i são as variáveis padronizadas, e os sub-índices representam as variáveis na ordem da Tabela 3. Os escores fatoriais variaram de -5 a +5 para a Eq. 01 para a base de dados considerada no estudo, sendo os valores mais negativos aqueles que indicam um sistema menos degradado, enquanto que os mais positivos um sistema mais degradado. Já para a Eq. 02 os escores variaram de -3 a +3, sendo os de valor negativo aqueles que indicaram uma predominância de materiais dissolvidos e coloridos, enquanto que os de valores opostos indicam uma predominância de sólidos suspensos e turbidez.

Ainda, utilizando as Eq. 01 e a Eq. 02, foram estimados os IQA_1 e IQA_2 para a Lagoa da Maraponga no período de estudo. Os escores fatoriais determinados para IQA_1 e IQA_2 em cada amostra e ponto de coleta, respectivamente, bem como a curva de precipitação pluviométrica (CEARÁ, 2010) no período estão apresentados na Figura 2 e na Figura 3.

Analizando a Figura 2 pode ser observado que a água do corpo hídrico estudado tem sua qualidade diminuída, o que corresponde ao aumento do IQA_1 , sempre com o início do período chuvoso. Verifica-se que no Ponto 1, a qualidade da água é mais susceptível à degradação, em geral, com valores de IQA mais elevados que os demais, em momentos de mais intensa precipitação pluviométrica. Isso pode ser explicado pela maior proximidade destes lançamentos de águas pluviais, muitas vezes incorporando esgotos clandestinos lançados na rede pública de drenagem, como também lixiviados de lixos inadequadamente dispostos nas vias públicas.

Também pode ser verificado que o pico de degradação da qualidade foi observado ainda na quadra chuvosa de 2007, período anterior às maiores intervenções do órgão ambiental de controle urbano da Prefeitura Municipal de Fortaleza no sentido de limpeza do espelho d'água, retirado de entulhos de lixo, além de eliminar entradas clandestinas de esgoto na rede de drenagem pluvial.

A partir de então, todos os pontos se comportam de forma similar e com degradação da qualidade da água de forma menos pronunciada nos períodos de mais intensa precipitação pluviométrica.

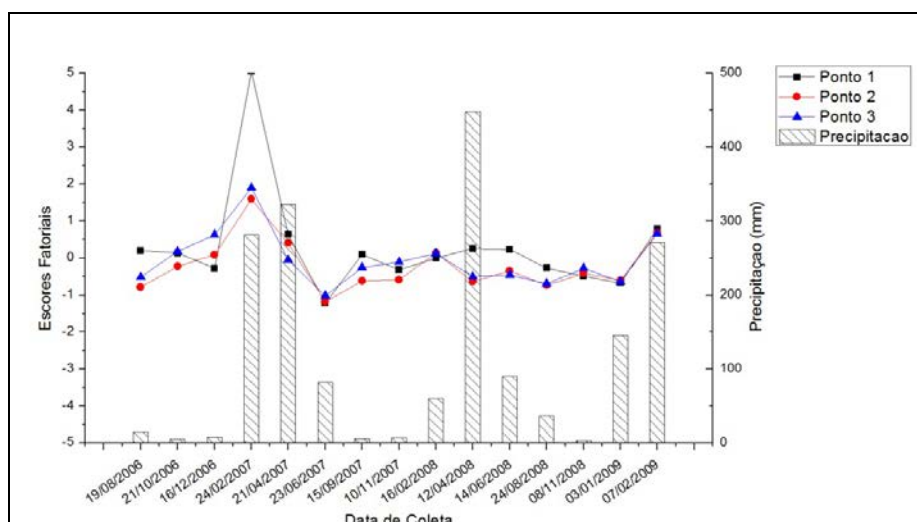


Figura 2 – IQA_1 e pluviometria da Lagoa da Maraponga nos pontos de coletas e no período estudado.

A partir da análise da Figura 3, observa-se que na quadra chuvosa a influência dos materiais dissolvidos nas características do corpo hídrico prevalece sobre a influência dos sólidos suspensos; um comportamento contrário ao observado no período seco. Tal comportamento poderia se justificar no fato de que na quadra seca há uma grande evaporação da água do sistema lacustre, diminuindo a concentração de sólidos dissolvidos, além de continuar recebendo aporte de esgotos através da galeria de drenagem pluvial, mesmo na ausência de chuvas, situação observada nas diversas visitas feitas à lagoa.

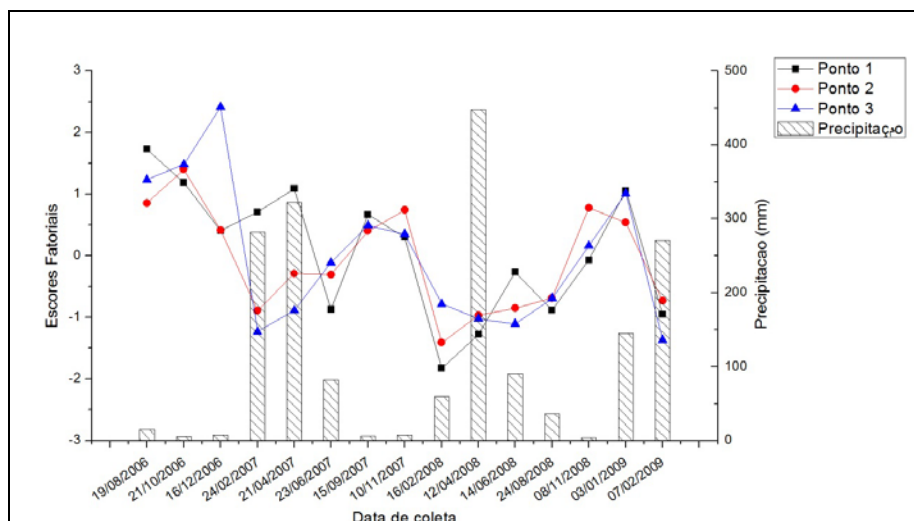


Figura 3 – IQA₂ e pluviometria da Lagoa da Maraponga nos pontos de coletas e no período estudado.

CONCLUSÃO

A análise fatorial se mostrou uma ferramenta eficiente para avaliação da qualidade de água da Lagoa da Maraponga, Fortaleza, Ceará. A partir desta análise determinou-se que as influências sofridas pelo corpo aquático ao longo do período considerado alteram de forma correlacionada às características visuais e nutricionais do ecossistema lacustre.

Um índice de qualidade de água foi proposto para o ecossistema lacustre, e avaliado no período de estudo, retratando uma relação entre a qualidade do corpo aquático e a precipitação pluviométrica na região da lagoa. Outro índice, que avalia a predominância de materiais sólidos e causadores de turbidez em relação a materiais dissolvidos e nutrientes no meio aquático, também foi proposto e mostrou relação com a pluviometria no período considerado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa PROAPP/IFCE pelo apoio acadêmico através de bolsa de produtividade, ao programa PIBIC/FUNCAP/IFCE pelas bolsas de iniciação científica concedidas, e à equipe do LIAMAR do Campus Fortaleza IFCE pelo suporte analítico e acadêmico na realização desse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Monitoramento: Gráfico de chuvas dos postos pluviométricos**. Disponível em: <http://www.fuceme.br>. Acesso em: out. 2010.
2. CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Unidade de Conservação: Unidade de Conservação Municipal: Parque Ecológico da Lagoa da Maraponga**. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/>. Acesso em: maio 2011
3. CHAVES; V. N.; LIMA P. C. C. ; Avaliação ambiental do parque ecológico da Lagoa da Maraponga e o nível de conhecimento da população sobre as questões ambientais. In: XVI Encontro Nacional de Geógrafos Brasileiros, 2010, Porto Alegre. Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos, 2010.
4. FORTALEZA. Prefeitura Municipal de Fortaleza - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano. **Projeto Lagoas de Fortaleza**. Fortaleza: SEMAM/PMF, 2006.
5. HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R.E; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
6. SPSS – **Statistical Package For The Social Sciences**. Base 13.0 User's Guide. Chicargo: SPSS, 2004.
7. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21.ed. Washington, DC, EUA: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF), 2005.

8. TOLEDO, L. G.; NICOLELLA G.. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. São Paulo, SP, Brasil. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.181-186, 2002.
9. ZIMMERMANN; C. M.; GUIMARÃES; O. M.; ZAMORA; P. G. P. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). Ponta Grossa, PR, Brasil. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1727-1732; 2008.