

AVALIAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DA SAPIRANGA, FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL, UTILIZANDO ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

**Marcio R. P. SANTOS; Erilany C. M. BARROS; Lyndervan O. ALCÂNTARA
Hugo L. B. BUARQUE; Raimundo B. GOMES**

Grupo de Pesquisa em Processos Químicos e Ambientais
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. Treze de Maio, 2081, Benfica, 60.040-531, Fortaleza, Ceará
telefone/fax: +55 (-85) 3307-3647 / +55 (85) 3307-3711,

E-mails: marcio_xp@hotmail.com, erilanydmb@hotmail.com, lyndervan@hotmail.com, hbuarque@ifce.edu.br

RESUMO

O uso de indicadores de qualidade de água é uma tentativa de monitoramento de águas superficiais que prevê como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo do tempo. A Lagoa da Sapiroanga está localizada no bairro Sapiroanga/Coité, Fortaleza, CE. A avaliação *in loco* da área entorno desta lagoa, nos permite observar a ausência de sistema de drenagem e esgotamento sanitário, acúmulo de lixo, presença de macrófitas aquáticas flutuantes e fixas e aguapé. O presente estudo objetivou determinar indicadores para diferentes pontos de coleta do corpo hídrico, utilizando métodos estatísticos multivariados de dados. Foram selecionados 10 parâmetros físico-químicos para compor os índices. As variáveis analisadas são: sólidos totais fixos, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, dureza total, sulfato, sólidos totais voláteis, alcalinidade, potencial hidrogeniônico, cobre e demanda bioquímica de oxigênio. As componentes principais foram extraídas, sem rotação, utilizando o critério da raiz latente, seguido da obtenção dos escores fatoriais, através do método de Bartlett, os quais foram utilizados como índice. Análise de agrupamento hierárquico foi aplicada para analisar similaridade entre os pontos de coleta. Com o uso dos índices determinados e dos dados pluviométricos, foi possível verificar que a principal causa da deterioração do manancial estudado se deve, principalmente, as atividades antrópicas no entorno do corpo hídrico.

1. INTRODUÇÃO

A Lagoa da Sapiroanga é um ecossistema lacustre urbano de fortaleza, CE, possui área superficial de 218.887 m². Apresenta área de baixa densidade populacional, onde predominam chácaras e sítios. A avaliação *in loco* da área entorno da Lagoa, nos permite observar a ausência de sistema de drenagem e esgotamento sanitário, acúmulo de lixo, presença de macrófitas aquáticas flutuantes e fixas e aguapé.

A quantificação da carga poluidora que aporta a um 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).

Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e/ou para estabelecer um sistema de monitoramento, é necessário a utilização de métodos simples e que deem informações objetivas e interpretáveis, partindo para critérios próprios que considerem as características peculiares dos recursos hídricos. Neste sentido o uso de indicadores de qualidade de água é uma tentativa de monitoramento de águas superficiais que prevê como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo do tempo (TOLEDO, NICOLELLA, 2002).

A redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a construção de gráficos bidimensionais contendo maior informação estatística, pode ser conseguida através da análise de componentes principais. Também é possível construir agrupamentos entre as amostras de acordo com suas similaridades, utilizando todas as variáveis disponíveis, e representá-los de maneira bidimensional através de um dendrograma. A análise de componentes principais e de agrupamento hierárquico são técnicas de estatística multivariada complementar que têm grande aceitação na análise de dados químicos (NETO, MOITA, 1998).

O presente estudo objetivou utilizar a Análise de Componentes Principais (AF/ACP) e a Análise de Agrupamento (AA) na determinação das relações e da influência dos fatores determinantes na qualidade das águas da Lagoa da Sapiranga.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Bases de Dados

Para avaliação dos fatores de qualidade da água do corpo hídrico, foram compilados dados do monitoramento de três pontos de amostragem distintos da Lagoa da Sapiranga. Os dados foram disponibilizados pelo Convênio firmado entre o Centro de Pesquisa e Qualificação Tecnológica, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e a Prefeitura Municipal de Fortaleza. Na Figura 1 a localização dos pontos de coletas selecionados é indicada. Os dados geográficos (georeferenciamento) dos pontos estão dispostos na Tabela 1. Nestes pontos, coletas bimestrais foram realizadas entre agosto de 2006 e fevereiro de 2009. As amostras coletadas foram analisadas com relação a 30 parâmetros físico-químicos, seguindo metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).



Figura 1 – Localização dos pontos de coleta da lagoa da Sapiranga.

Tabela 1 – Localização geográfica dos pontos de coleta na Lagoa da Sapiranga

PONTO DE COLETA	REFERÊNCIA LOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICA
Ponto 1	Entrada Tributário Principal	3°48.058'/38°27.387'
Ponto 2	Centro	3°48.209'/38°27.800'
Ponto 3	Sangradouro	3°47.089'/38°27.576'

Dos trinta parâmetros analisados, somente dez foram selecionados através de procedimentos estatísticos multivariados, utilizando como critério de redução e seleção de variáveis: o teste de adequacidade de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO), a matriz anti-imagem e a matriz de correlação juntamente com seu teste de significância. Assim foram selecionados os seguintes parâmetros: sólidos totais fixos (STF), sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade elétrica (CE), dureza total (DT), sulfato (SO₄), sólidos totais voláteis (STV), alcalinidade (ALC), potencial hidrogeniônico (PH), cobre (Cu) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Também foram realizadas reduções de parâmetros dividindo os dados compilados em relação aos períodos seco e chuvoso.

2.2 Tratamentos dos Dados

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® 2003.

Para o tratamento prévio dos dados (descrição estatística, identificação de valores atípicos, etc.), através de técnicas multivariadas de AF/ACP (obtenção das matrizes correlação para os parâmetros considerados, extração e definição dos componentes principais e obtenção de escores fatoriais) e AA, foi utilizado o programa computacional “SPSS® 13.0 for Windows” (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Assim, a partir dos dados determinados e devidamente formatados, eram extraídas suas matrizes de correlação, matrizes anti-imagem, além do critério de adequação KMO das variáveis. Foram selecionadas dez variáveis, pois possuíam KMO maior que 0,700 e a maioria das correlações de cada variável tinham nível de significância menor que 5%. Posteriormente, foram extraídos, sem rotação, fatores comuns e os escores fatoriais, utilizados como índice, foram estimados.

Os parâmetros também eram submetidos à AA a cada retirada de variável, baseada no método de Ward usando quadrado distância euclidiana e a norma do z-escore, possibilitando visualizar a semelhança entre os pontos de coleta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da Tabela 2 pode ser percebido que: a variável SDT apresentou maior coeficiente de variação, enquanto o pH mostrou menor variabilidade. Estes valores representam a totalidade dos valores dos pontos de amostragem da lagoa da Sapiroanga. Os coeficientes de variação altos indicam a inconstância dos valores dos parâmetros, influenciando de maneira relevante no índice de qualidade de água proposto. Essa grande variabilidade é esperada, em consequência das atividades antrópicas na área.

Tabela 2 – Estatística descritiva básica das variáveis estudada dos três pontos de amostragem.

Parâmetros	Mínimo	Maximo	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
STF (mg/L)	167	3172	767	760	99%
SDT (mg/L)	173	3682	885	910	103%
CE (µS/cm)	225	2850	924	826	89%
DT (mg CaCO ₃ /L)	48,3	635,8	198,0	152,7	77%
SO ₄ (mg/L)	0,01	115,1	34,93	29,65	85%
STV (mg/L)	51	720	210	183	88%
ALC (mg CaCO ₃ /L)	69	395,1	162,0	86,4	53%
PH	6,7	9,97	8,60	0,88	10%
Cu (mg/L)	0,001	0,013	0,005	0,003	48%
DBO (mg/L)	6	99,2	43,4	21,8	50%

A partir da metodologia proposta foi obtida a matriz de correlação dos dez parâmetros selecionados, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de correlação obtida para o sistema otimizado

	STF	SDT	CE	DT	SO4	STV	ALC	PH	Cu	DBO
STF	1									
SDT	<u>0,987</u>	1								
CE	<u>0,795</u>	<u>0,788</u>	1							
DT	<u>0,876</u>	<u>0,841</u>	<u>0,686</u>	1						
SO4	<u>0,760</u>	<u>0,761</u>	<u>0,898</u>	<u>0,685</u>	1					
STV	<u>0,787</u>	<u>0,865</u>	<u>0,622</u>	<u>0,623</u>	<u>0,619</u>	1				
ALC	<u>0,538</u>	<u>0,519</u>	<u>0,620</u>	0,459	0,452	0,359	1			
PH	0,484	0,471	0,490	0,370	0,426	0,391	0,360	1		
Cu	0,322	0,357	0,218	0,297	0,368	0,374	0,019	0,039	1	
DBO	0,279	0,308	0,305	0,158	0,276	0,326	0,263	0,154	<u>0,532</u>	1

* valores destacados são correlações superiores a 0,500.

Como podem ser observados, todos os parâmetros obtiveram, pelo menos, um valor maior que 0,500; o que mostra uma forte correlação entre esses parâmetros. A correlação alta da CE e DT com STF e SDT eram esperadas, uma vez que, ambas estão ligados à dissolução de íons na água. A correlação entre Cu e DBO pode está ligada a varias entradas clandestina presente na lagoa.

O teste de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresentou valor igual a 0,752, que é considerado satisfatório segundo a literatura. Pelo teste da Análise Fatorial/Análise de Componente Principal (AF/ACP), foram extraídas duas componentes principais. A seleção do número de componente seguiu o critério de Kaiser, onde é extraída somente aquelas que possuem autovalor maior que um.

Os resultados das estimativas das cargas fatoriais bem como a variância total explicada de cada componente estão dispostos na Tabela 4. A redução das variáveis também foi realizada dividindo os dados por período seco e chuvoso. Foram observadas que os parâmetros CE, STF, SDT, ALC, DT e PH, mostraram-se comum em comparação aos dois períodos, indicando que esses parâmetros sofre pouca influência da precipitação e podem estar ligadas as atividades antrópicas entono do corpo hídrico.

Tabela 4 – Componentes Principais e suas respectivas cargas fatoriais e variância explicada.

Componente	Variância Explicada	STF	SDT	CE	DT	SO4	STV	ALC	PH	Cu	DBO
1	57,72%	<u>0,952</u>	<u>0,958</u>	<u>0,890</u>	<u>0,844</u>	<u>0,863</u>	<u>0,821</u>	<u>0,618</u>	<u>0,556</u>	0,412	0,406
2	13,45%	-0,085	-0,031	-0,155	-0,120	-0,019	0,105	-0,271	-0,297	<u>0,802</u>	<u>0,694</u>

Na primeira componente todas as variáveis possuem valor relevantes e positivos, e como os parâmetros aumentam com a poluição, a primeira componente (CP1) pode ser associada ou nomeada como índice de qualidade de água (IQA). A segunda componente (CP2) está representada, principalmente, pelo Cu e DBO, que estão associados ao índice de aporte de material (IAM) na lagoa .

A partir da extração das componentes principais foi utilizado o critério de Bartlett para estimar coeficientes fatoriais que minimiza a variância de erro, sendo estes adotados como peso na obtenção dos escores fatoriais.(EF) Abaixo estão expressas as equações utilizadas para obter os EF que serão utilizados como indicadores.

$$EF(CP1) = 0,165Z_1 + 0,166Z_2 + 0,154Z_3 + 0,146Z_4 + 0,150Z_5 + 0,142Z_6 + 0,107Z_7 + 0,096Z_8 + 0,071Z_9 + 0,070Z_{10} \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$EF(CP2) = -0,063Z_1 - 0,023Z_2 - 0,116Z_3 - 0,089Z_4 - 0,014Z_5 + 0,078Z_6 - 0,202Z_7 - 0,221Z_8 + 0,597Z_9 + 0,516Z_{10} \quad [\text{Eq 2}]$$

Nessa expressão Z_i são variáveis normalizadas e os sub-índices representam as variáveis na mesma ordem (Tabela 4). Os índices calculados por este procedimento possuem média zero e variância unitária, estando compreendido entre -3 e 3, denotando os valores negativos os de melhor resultado.

Os valores calculados dos indicadores de qualidade de água e aporte de material, para cada ponto de coleta, ao longo do tempo, denominado escores fatoriais, são apresentados na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente.

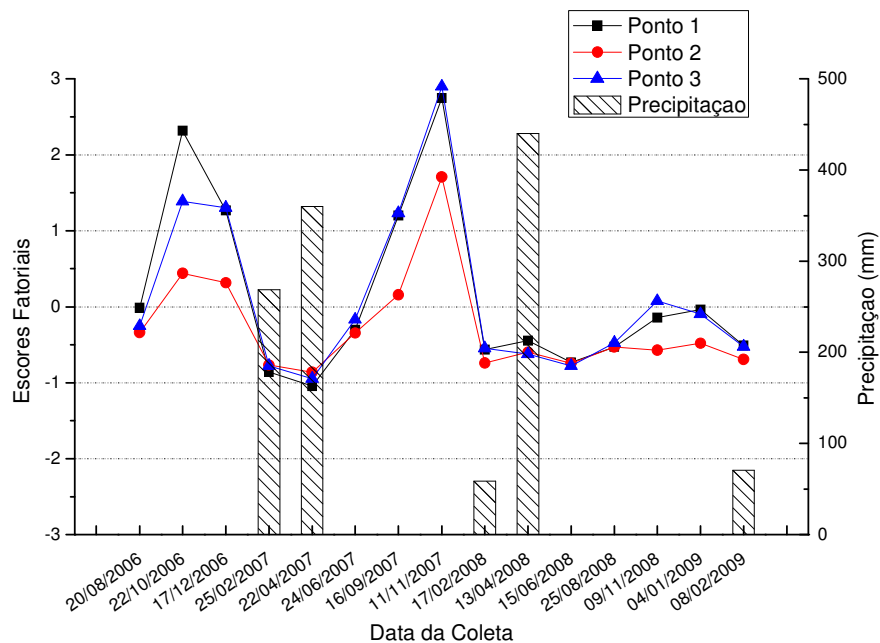


Figura 2 – IQA's e dados pluviométricos (CEARÁ, 2009) da Lagoa da Sapiranga nos pontos de coleta e no período considerado.

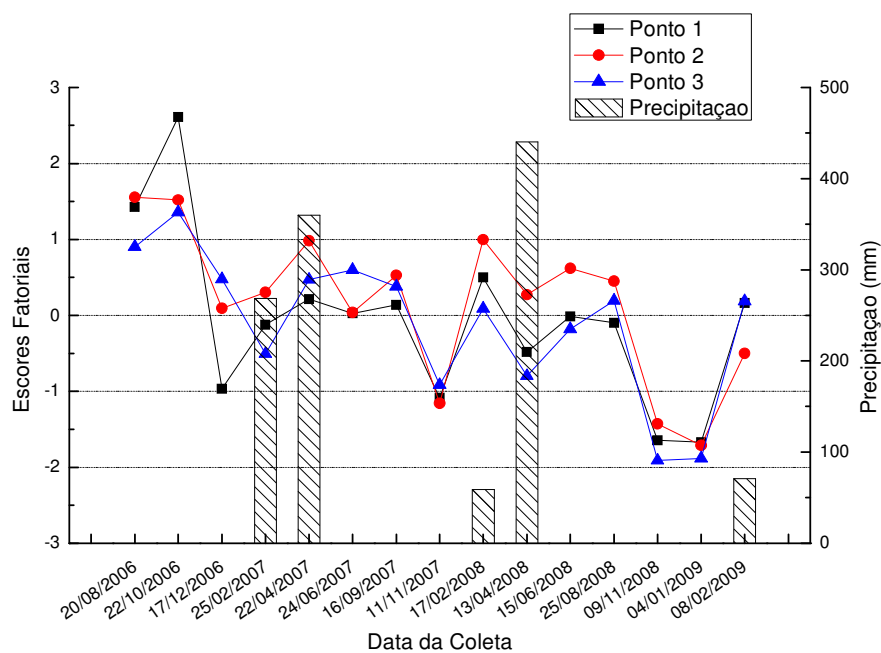


Figura 3 – IAM's e dados pluviométricos (CEARÁ 2009) da Lagoa da Sapiranga nos pontos de coleta e no período considerado.

O IQA mostrou-se com valores melhores na época da chuva, o que mostra que a qualidade do corpo hídrico é afetada principalmente pelas atividades antrópicas, uma vez que, essas atividades são acentuadas na época seca. Os pontos 1 e 3 obtiveram os piores índices, pois estes se encontram próximo as margens da lagoa, e estão mais sujeitos as atividades antrópicas, ao contrário do ponto 2 que se encontra no centro.

No IAM observa uma piora na época da chuva, pois há uma lavagem por completo do corpo hídrico que carrega para seu interior uma grande quantidade de resíduos e materiais orgânicos. O ponto 2 se encontra, de maneira geral, com índice piores que os outros pontos ao longo do tempo, isso é explicado pelo fato deste ponto possuir mais entradas clandestinas nas suas proximidades que os demais.

No dendograma obtido pela AA, pode-se observar agrupamento entre os pontos em dois grupos distintos, conforme mostrado na figura 4. O isolamento do ponto dois em relação aos outros pontos, como explicado anteriormente, se deve pelo fato de este se encontrar longe das atividades antrópicas e possuir maior número de entradas clandestinas.

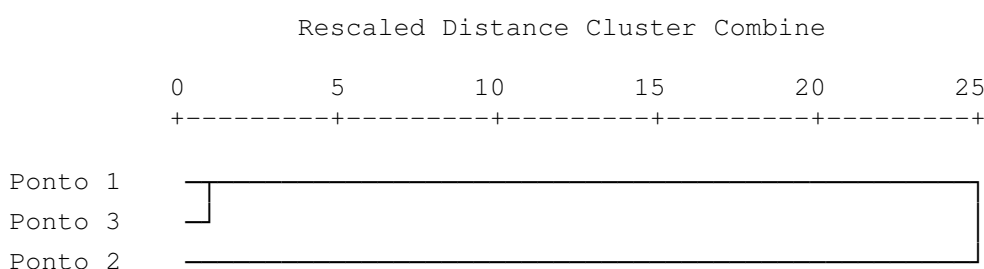


Figura 4 – Dendograma obtido pela AA, utilizando método de Ward e o quadrado da distância euclidiana.

4. CONCLUSÃO

O uso de técnica de análise fatorial possibilitou a obtenção de índices que mostraram comportamentos distintos entre os pontos de coleta da Lagoa da Sapiranga ao longo do tempo. A análise de agrupamento reforçou o comportamento dos pontos observados com análise fatorial, mostrando uma ferramenta eficaz no auxílio à interpretação dos resultados. O uso de técnicas estatísticas multivariadas permitiu avaliar a deterioração da qualidade da água da Lagoa da Sapiranga, com vistas à obtenção de indicadores específicos, os quais poderão ser monitorados ao longo do tempo.

5. AGRADECIMENTOS

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

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Monitoramento: Gráfico de chuvas dos postos pluviométricos**. Disponível em: <http://www.fuceme.br>. Acesso em: jul. 2010.

NETO, J. M. M; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Teresina, PI, Brasil. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

SPSS – **Statistical Package For The Social Sciences**. Base 13.0 User's Guide. Chicargo: SPSS, 2004.

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.

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.

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.